

# QUÉ ES EL FRACKING: Bases técnicas para entender los riesgos y la contaminación



[www.terraageoambiental.org](http://www.terraageoambiental.org)  
info@terraageoambiental.org

**Julio Fierro Morales**

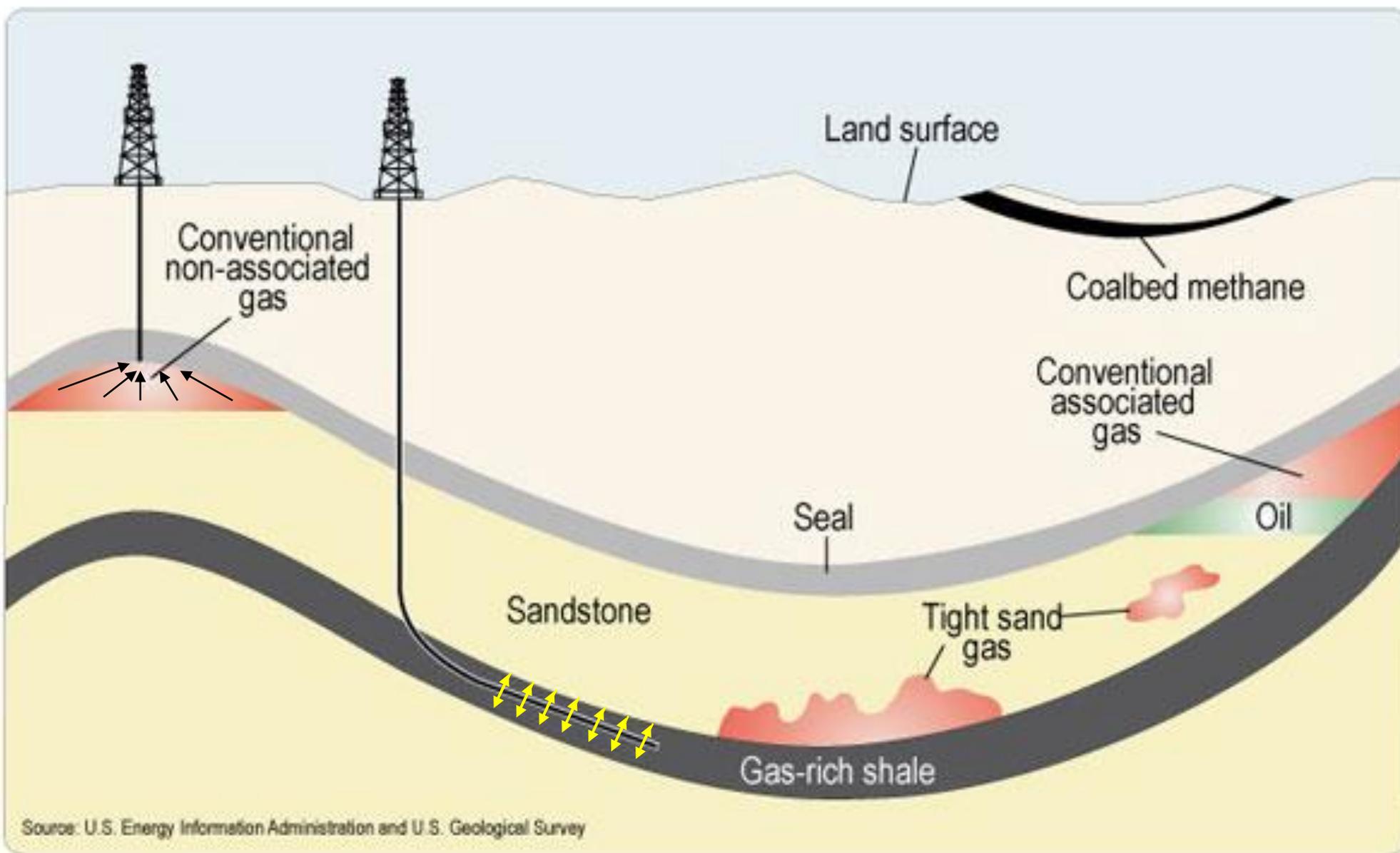
Geólogo MSc Geotecnia U.N.

- Docente Facultad Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

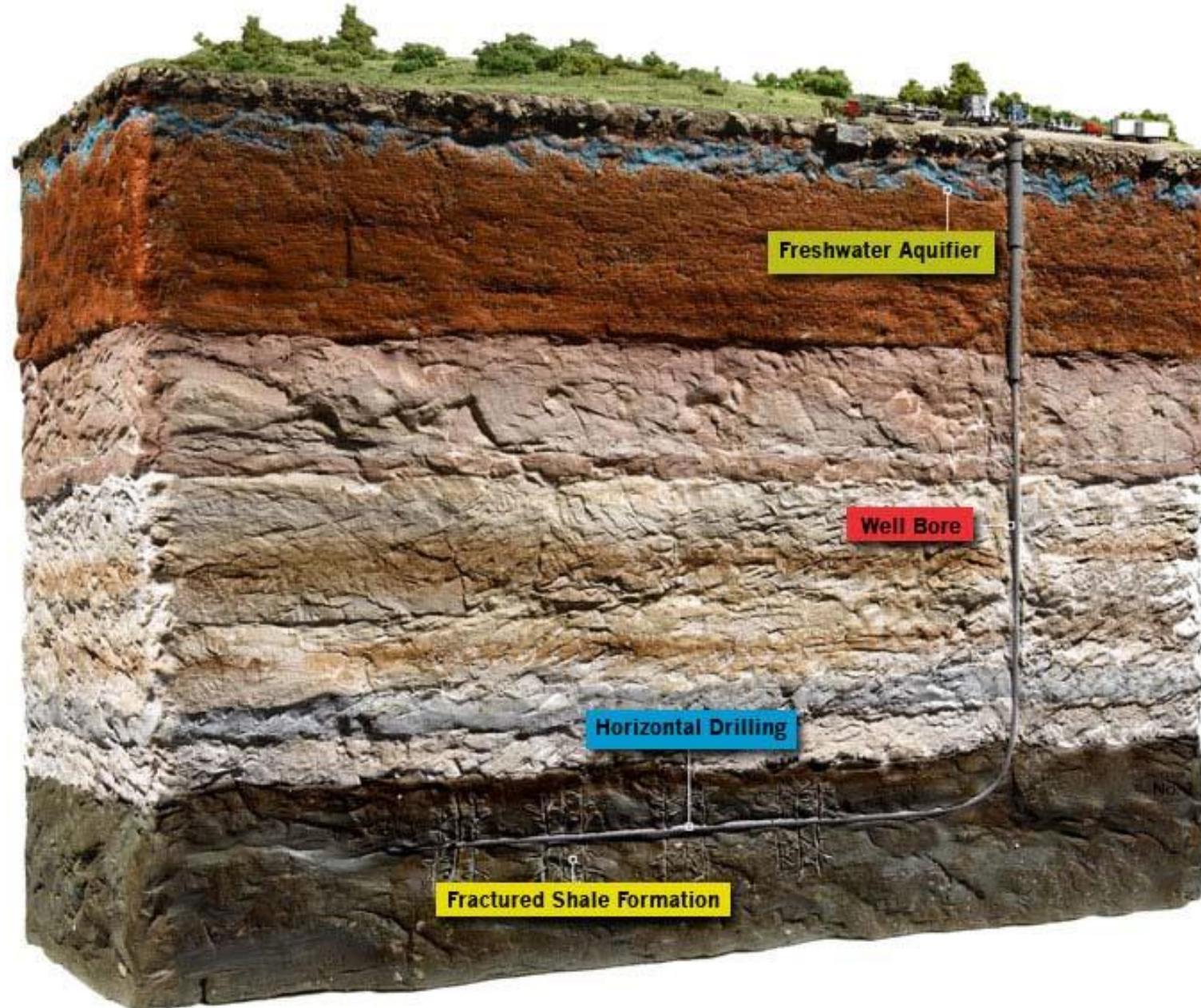
- Investigador Grupo TERRAE

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

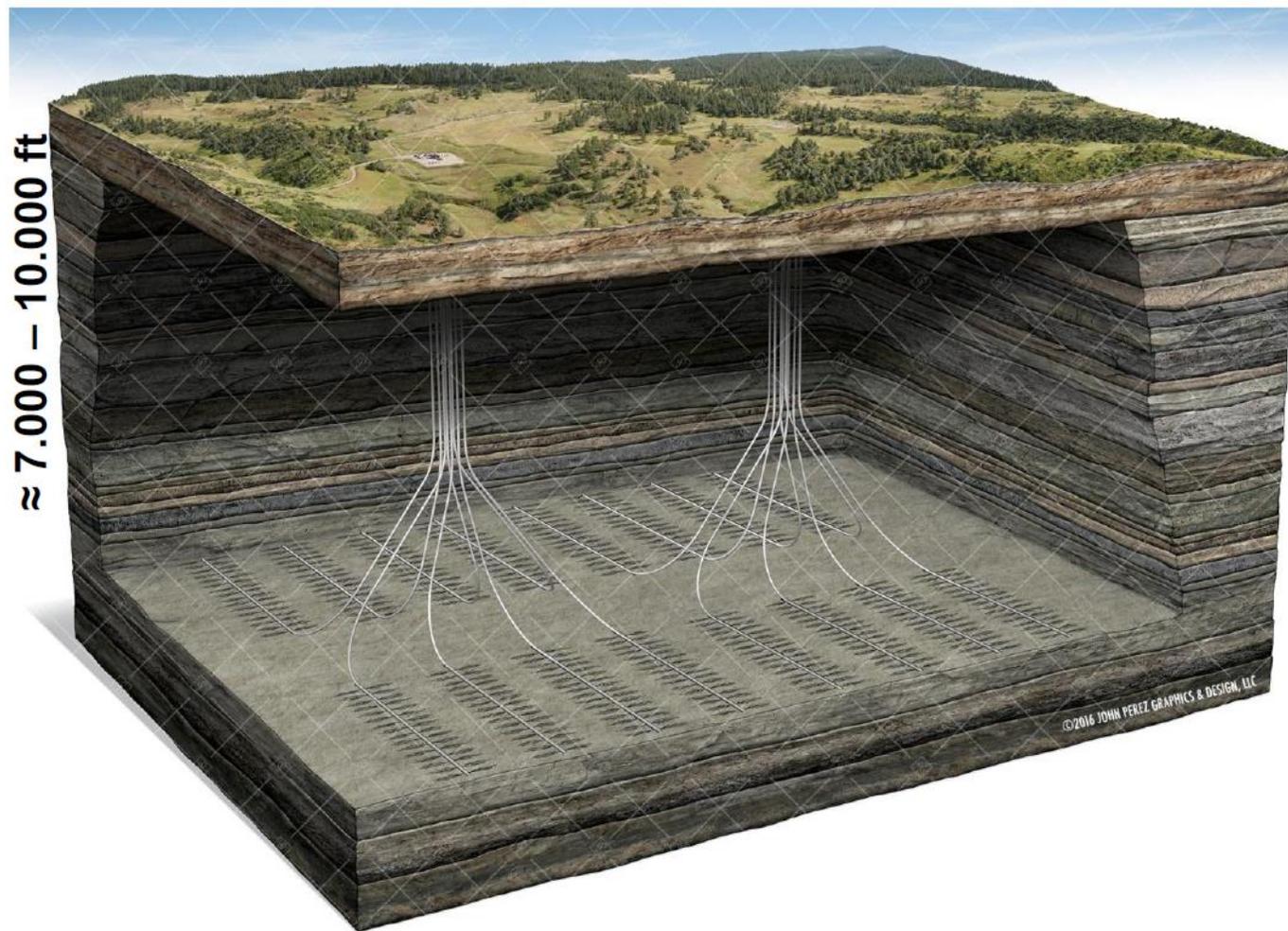


Modificado de <http://euanmearns.com/the-efficiency-of-us-shale-oil-drilling-and-production/>

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación



# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación



Costo vertical/pie = U\$100 – 150

Prof vertical  $\approx$  10.000 ft

Costo Horiz/pie = U\$400 - 600

Prof horiz  $\approx$  9.000 ft

Costo promedio/pozo = U\$ 6.2 MM

Drilling  $\approx$  30%

Completion  $\approx$  65%

Facilities  $\approx$  5%

Estados de fracturamiento  $\approx$  30 – 40

Espaciamiento  $\approx$  250 ft

Vol Propante  $\approx$  800 lb/ft lateral

Vol fluido  $\approx$  30 bbl/ft lateral

Pozos por PAD  $\approx$  12 – 16 – 18 – 24

Producción inicial/pozo  $\approx$  650 – 1.400 bp

EUR por pozo  $\approx$  0,5 MMBP

Trends in U.S. Oil and Natural Gas  
Upstream Costs

March 2016



Independent Statistics & Analysis

U.S. Energy Information  
Administration





# Pads multipozo Williston Basin (Bakken play)



—  $\approx 25 \text{ km}$  —



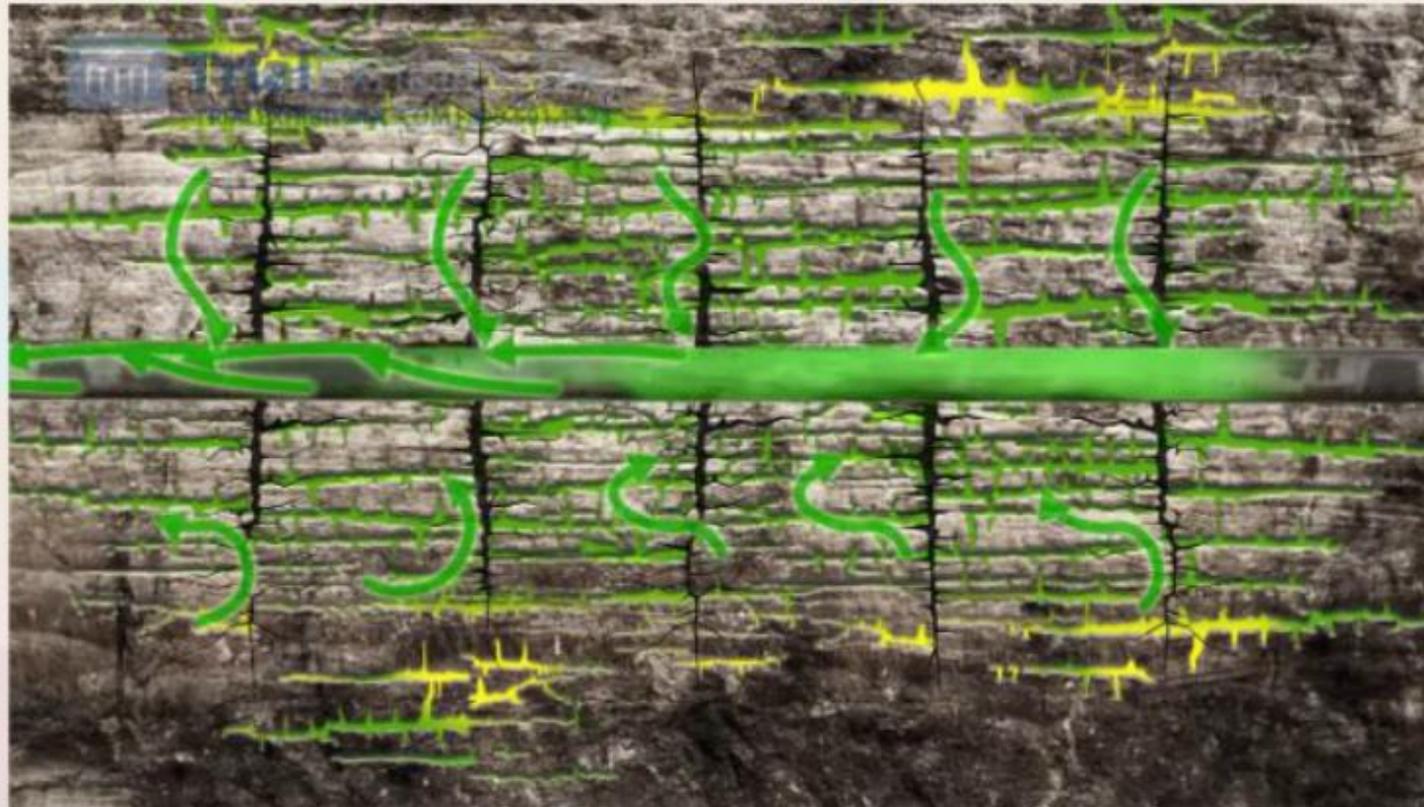
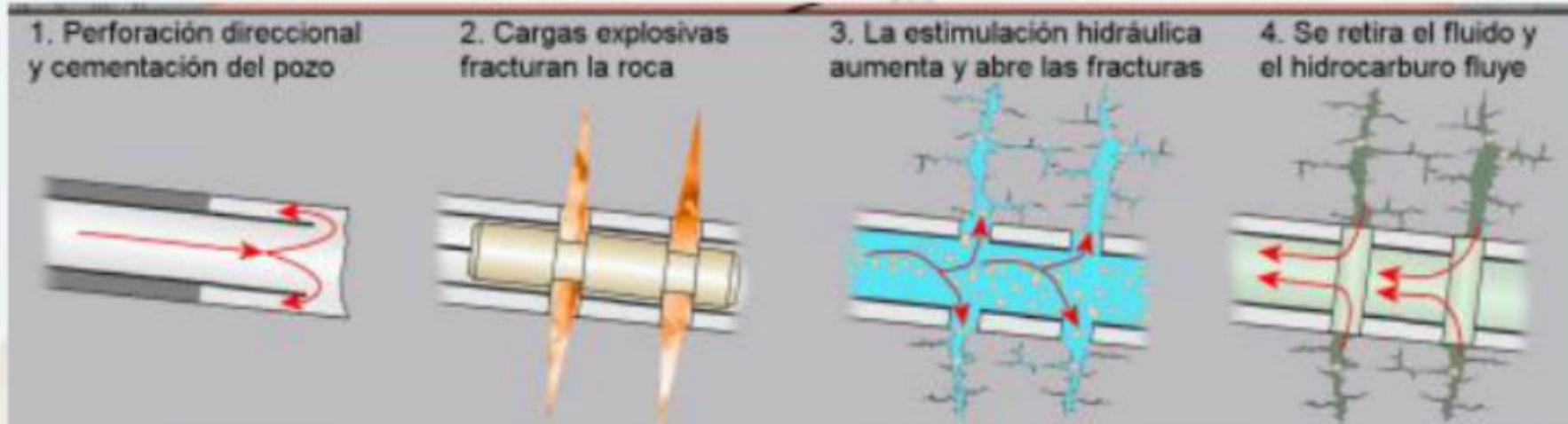
4 hectáreas

4 hectáreas



**Pads multipozo  
Permian Basin  
(Spraberry play)**

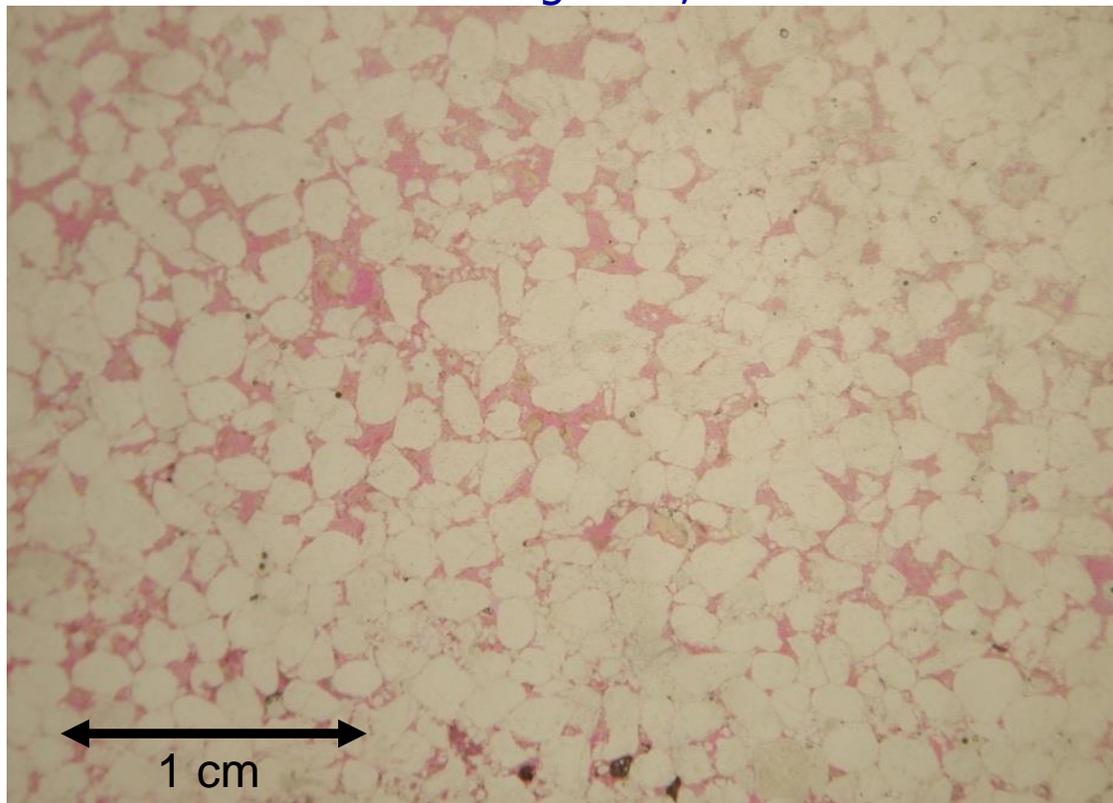
# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación



# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

## Roca almacenadora (yacimiento convencional)

Poros entre los granos, el contenido de hidrocarburos puede ser hasta del 30% de su volumen total



Sección delgada arenisca de la Fm. Arenisca Tierna (Colombia)



Petróleo manando de roca sedimentaria de grano grueso.  
<https://oceanservice.noaa.gov/hazards/spills/>

En los yacimientos convencionales, dada su profundidad y su permeabilidad, los fluidos tienden a irse hacia los pozos y es más fácil estimularlos cuando la presión natural declina. **MENOR ENERGÍA NECESARIA.**

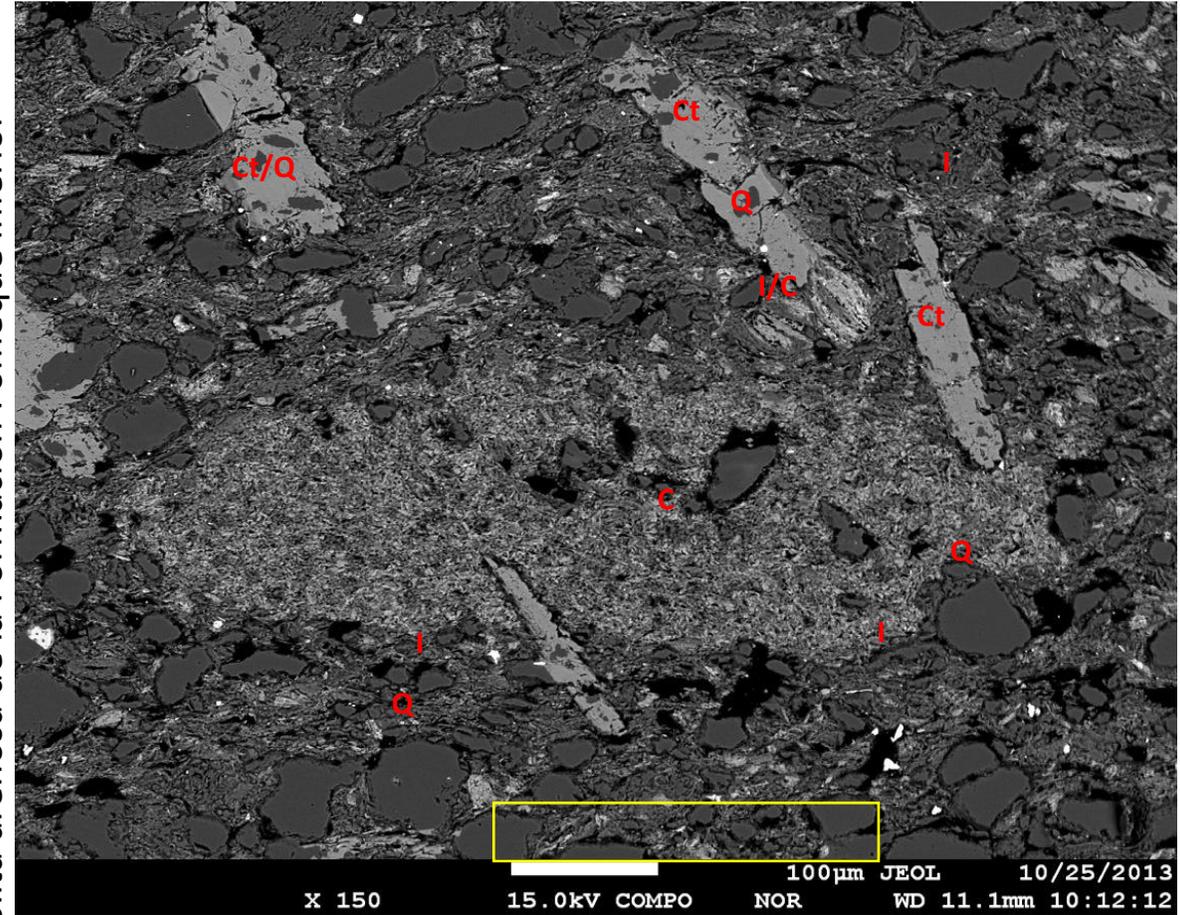
# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

## Roca generadora (yacimiento no convencional)

Roca generadora: Los poros son muy pequeños y la interconexión es baja. Parte de los fluidos no se mueven o lo hacen en velocidades muy bajas (incluso en tiempos geológicos)



Lodolita arenosa de la Formación Fômeque Inferior



C = Clorita  $(\text{Fe}_{3.2} \text{Mg}_{1.34} \text{Al}_{1.46}) \text{Al}_2 \text{Si}_{2.61} \text{O}_{10}(\text{OH})_8$   
I = Illita  $\text{K}_{0.7} \text{Na}_{0.14} \text{Al}_2 \text{Al Si}_3 \text{O}_{10}(\text{OH})_2$   
Ct = Cloritoide  $\text{Fe}_{0.97} \text{Mg}_{0.06} \text{Al}_2 \text{Si O}_5(\text{OH})_2$   
Q = Cuarzo  $\text{SiO}_2$

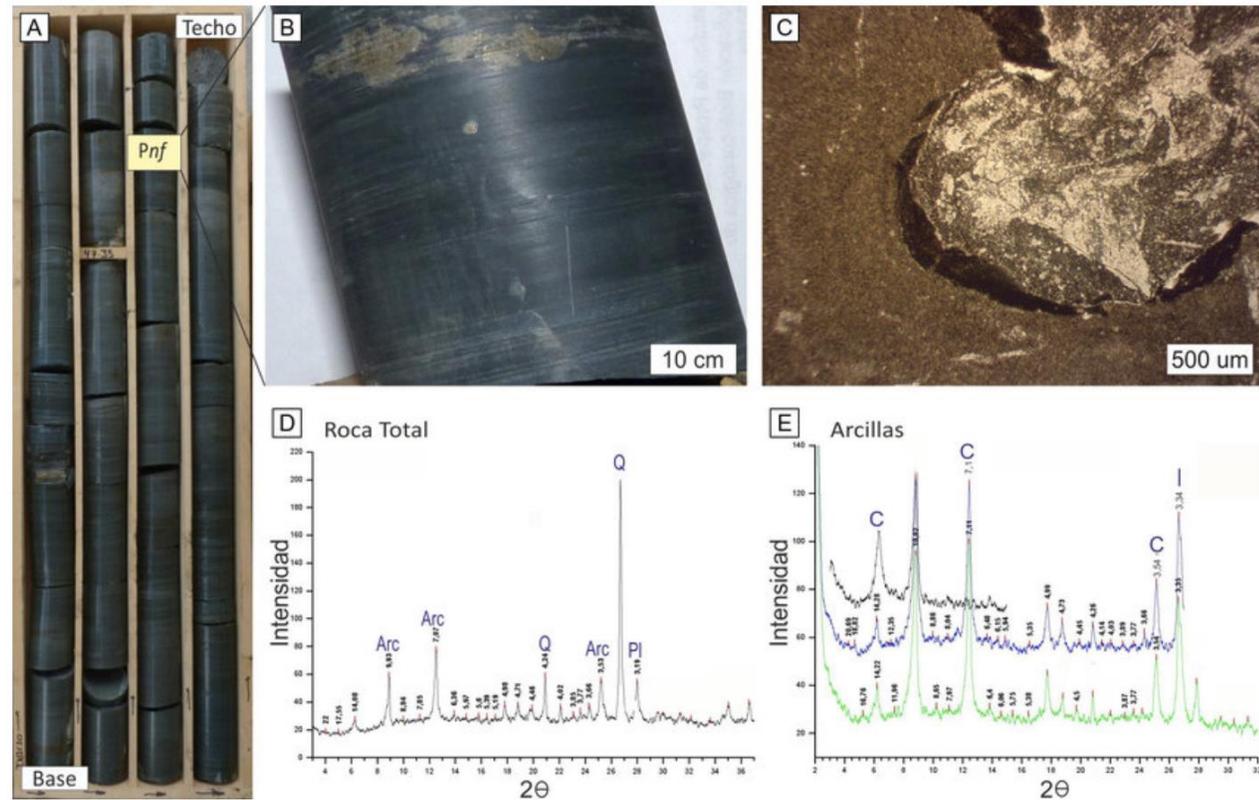
En los yacimientos NO convencionales, dada su muy baja permeabilidad, los fluidos tienden a quedarse en la roca sin fluir a los pozos y por ello es necesario fracturarlos. **MAYOR ENERGÍA NECESARIA.**

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

## Roca generadora (yacimiento no convencional)

Roca generadora: Los poros son muy pequeños, la interconexión es baja y las propiedades de las arcillas “pegan” parte de los fluidos a su estructura química.

Parte de los fluidos no se mueven o lo hacen en velocidades muy bajas (incluso en tiempos geológicos)



Facies de lutitas negras. a) Testigo corona de las lutitas negras laminadas. b) Fotografía de la facies Pnf. c) Detalle de estructura deformacional con pliegues convolutos. d) Difractograma de roca total muestra predominio de cuarzo, escasas a moderadas arcillas y escasas plagiclasas. e) Difractograma de la fracción arcilla en el cual se observan abundantes clorita e illita. Figure 5. Black shales facies. a) Core showing the black shales facies. b) Photograph showing pervasive lamination of the facies Pnf. c) View in detail of a deformational structure with convolute folds. d) Total rock diffractogram shows a predominance of quartz, with scarce to moderate clays and scarce plagioclase. e) Fine fraction diffractogram shows abundant chlorite and illite.

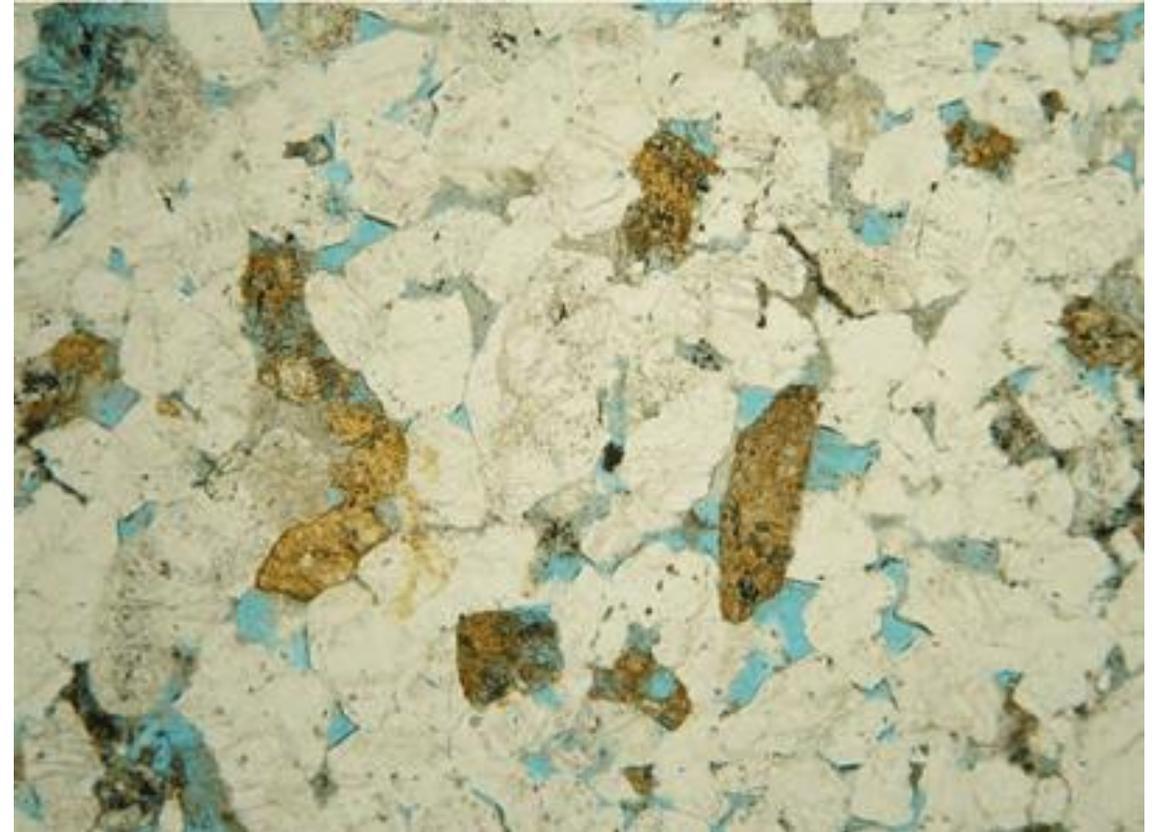
M. Julia Arrouy, Daniel G. Poiré, Lucía E. Gómez Peral, José María Canalicchio (2015).  
SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DEL GRUPO LA PROVIDENCIA (NOM. NOV.): CUBIEN  
SUPERIOR NEOPROTEROZOICA, SISTEMA DE TANDILIA, ARGENTINA

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

## Gas de areniscas apretadas (yacimiento no convencional)

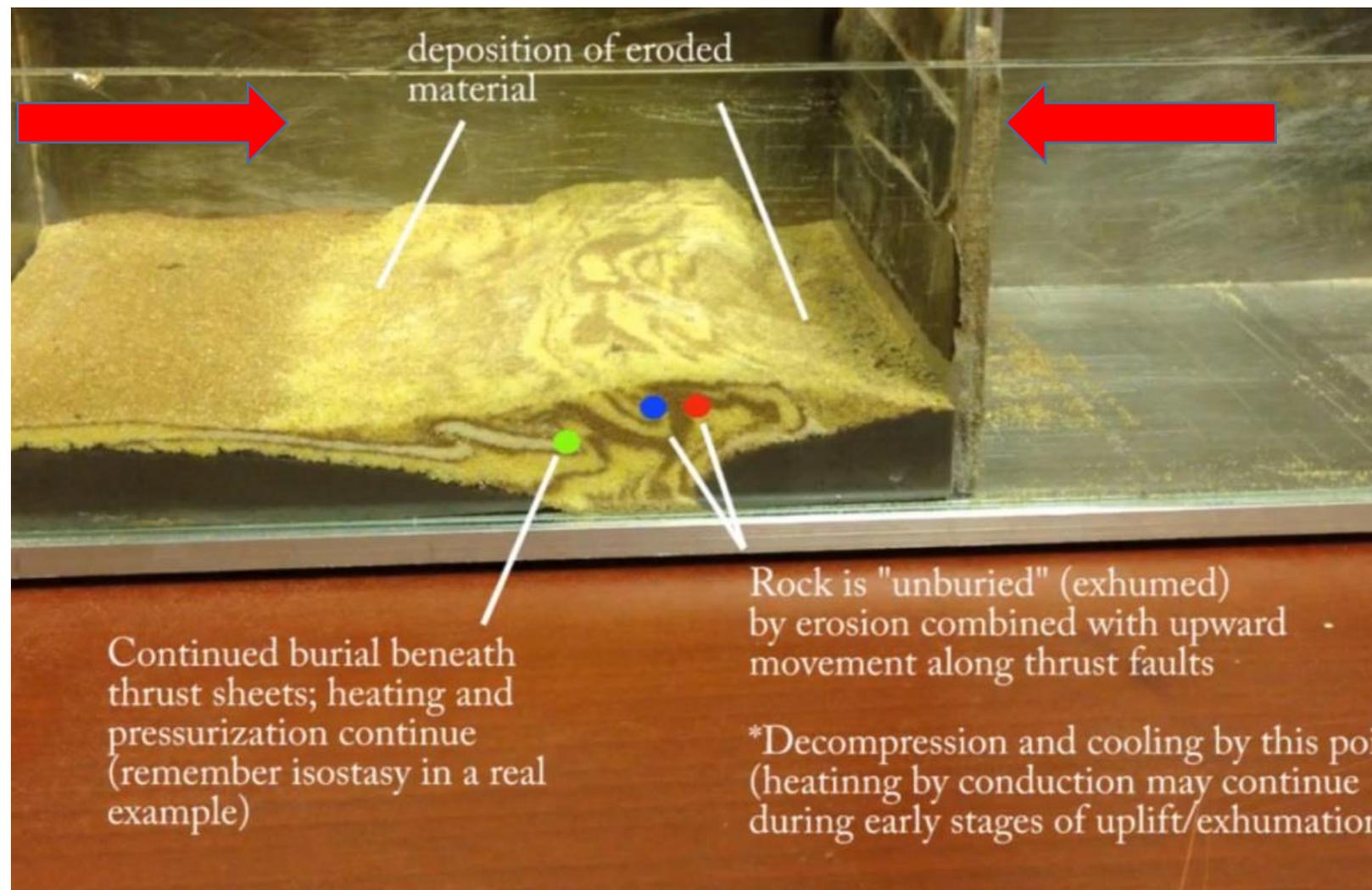
Yacimientos apretados (tight sandstones or limestones) se refiere a reservorios de muy baja permeabilidad en rocas duras que hacen que la roca donde se encuentran los hidrocarburos esté “apretada”. Los hidrocarburos en estos yacimientos requieren grandes energías para ser extraídos dado que los poros que los contienen no están conectados o están irregularmente distribuidos.

Suelen corresponder a rocas antiguas. En el caso de Bolivia, al Devónico y al Silúrico (rocas de 415 a 480 millones de años)



<https://www.virtualpps.com/2018/04/03/vpps-byte-8/>

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación



<https://geomodelsvt.wordpress.com/2016/04/29/mountain-building-uplift-erosion-and-exhumation/>

Luego de que arcillas, limos, arenas y gravas son depositadas (junto con materia orgánica) y compactadas, si el sepultamiento es mayor de 2-3 km, se convierten en rocas. Posteriormente, las fuerzas tectónicas pueden elevarlas, deformándolas y fracturándolas

## TEMÁTICAS A TRATAR

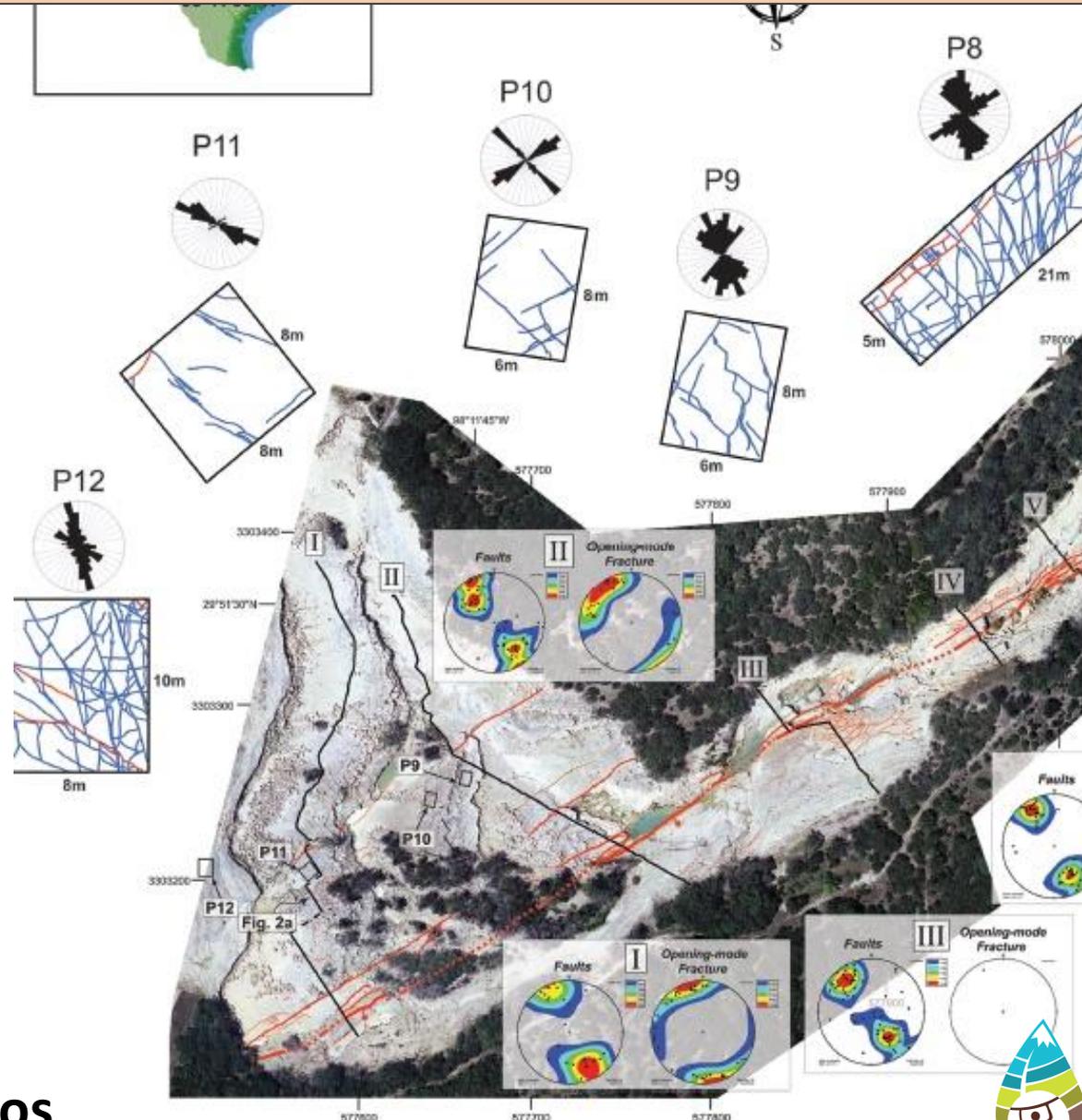
- Las incertidumbres que arriesgan agua y aire
- La licencia ambiental en exploración y explotación petrolera
- Los datos de contaminación en aire y agua en zonas petroleras...  
no son mitos.

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

Las condiciones de esfuerzo-deformación de las rocas pueden cambiar de un metro a otro dada la complejidad de la historia de esfuerzos, la heterogeneidad y la anisotropía de las rocas (las fracturas pueden cambiar totalmente su comportamiento de una capa a otra)



# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación



PITFALLS OF USING ENTRENCHED FRACTURE RELATIONSHIPS: FRACTURES IN BEDDED CARBONATES OF THE HIDDEN VALLEY FAULT ZONE, COMAL COUNTY, TEXAS (TOMADO DE MCGINNIS, FERRILL, SMART, MORRIS, HIGUERA & PRAWICA, 2015).

Expertos como A. Ingraffea proponen un comportamiento no lineal caótico para los fluidos dentro de las fracturas.

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación



**AGUAS SALIENDO DE FRACTURAS EN GRANITOS EN EXCAVACIÓN. MIITÚ, AMAZONIA COLOMBIANA.**



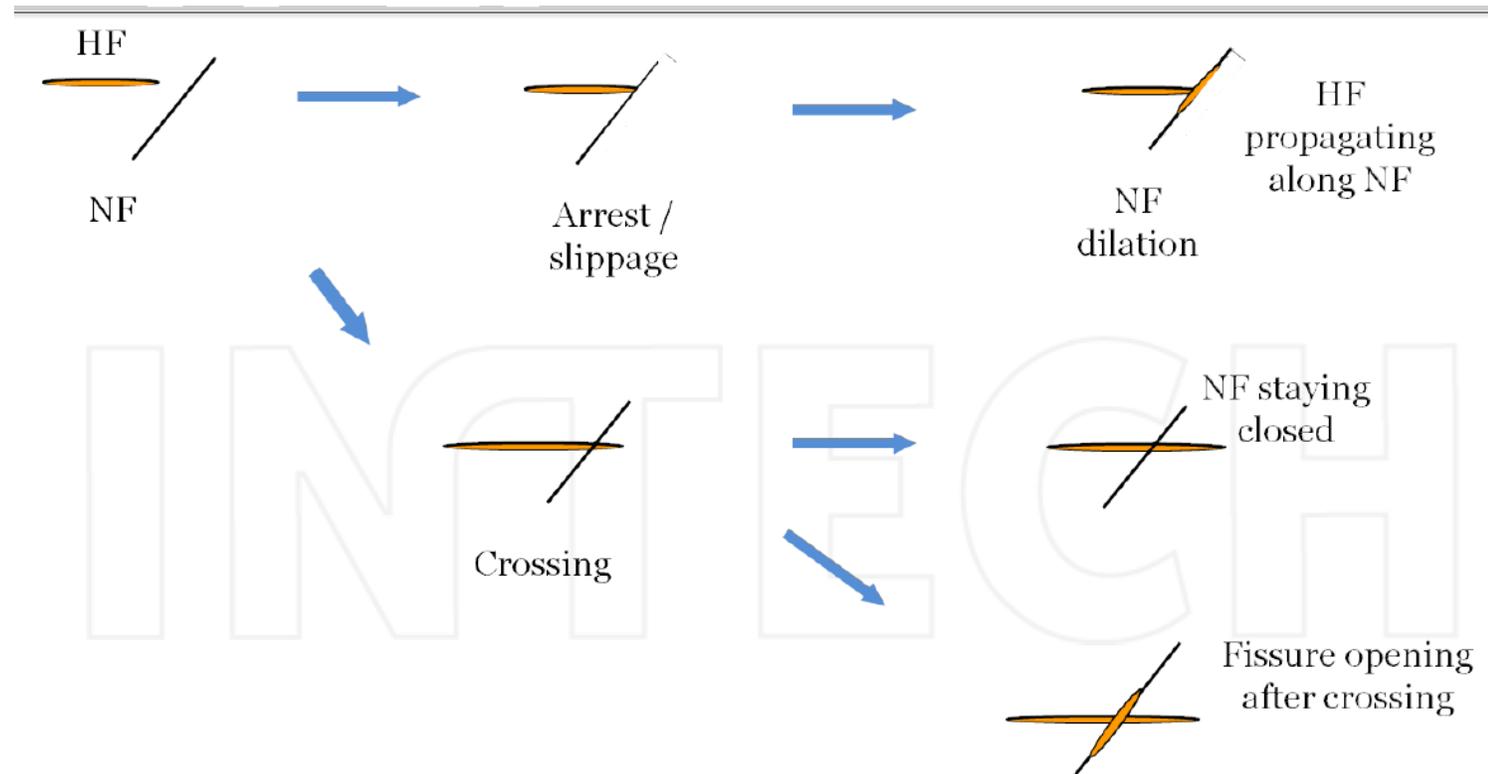
**AGUAS SALIENDO DE FRACTURAS EN CALIZAS AL ARROYO AGUAS BLANCAS. LA GUAJIRA, COLOMBIA.**

Las fracturas en las rocas son espacios para que el agua pueda moverse. Esas fracturas constituyen acuíferos (capas de roca que permiten que el agua se mueva dentro de ellas). De manera análoga lo hacen los hidrocarburos en yacimientos convencionales fracturados.

## Fracturas geológicas

El resultado de la interacción depende de los esfuerzos *in situ*, la fricción, la cohesión y las propiedades de permeabilidad de las fracturas naturales (NF), así como también de las propiedades reológicas del fluido de inyección y de la velocidad de dicha inyección.

Para predecir la geometría más ajustada de las fracturas generadas por la inyección hidráulica (HFs), se necesita predecir el resultado de cada interacción entre fracturas naturales y fracturas inducidas hidráulicamente (NF-HF)



Hydraulic Fracture Propagation Across a Weak Discontinuity Controlled by Fluid Injection

Dimitry Chuprakov, Olga Melchaeva and Romain Prioul (2013)

## Fracturas geológicas

### Underground Migration

De acuerdo con las publicaciones y estudios revisados (la migración de gases y químicos en el subsuelo pone en riesgo de contaminación las aguas (...) y puede ocurrir como resultado de la cementación y el “casing” efectuados de manera deficiente así como por la intersección de fracturas inducidas con fracturas naturales, fallas (...))

Las fracturas inducidas pueden crecer con el tiempo e intersectar aguas potables de acuíferos.

Induced fractures can grow over time and intersect with drinking water aquifers.

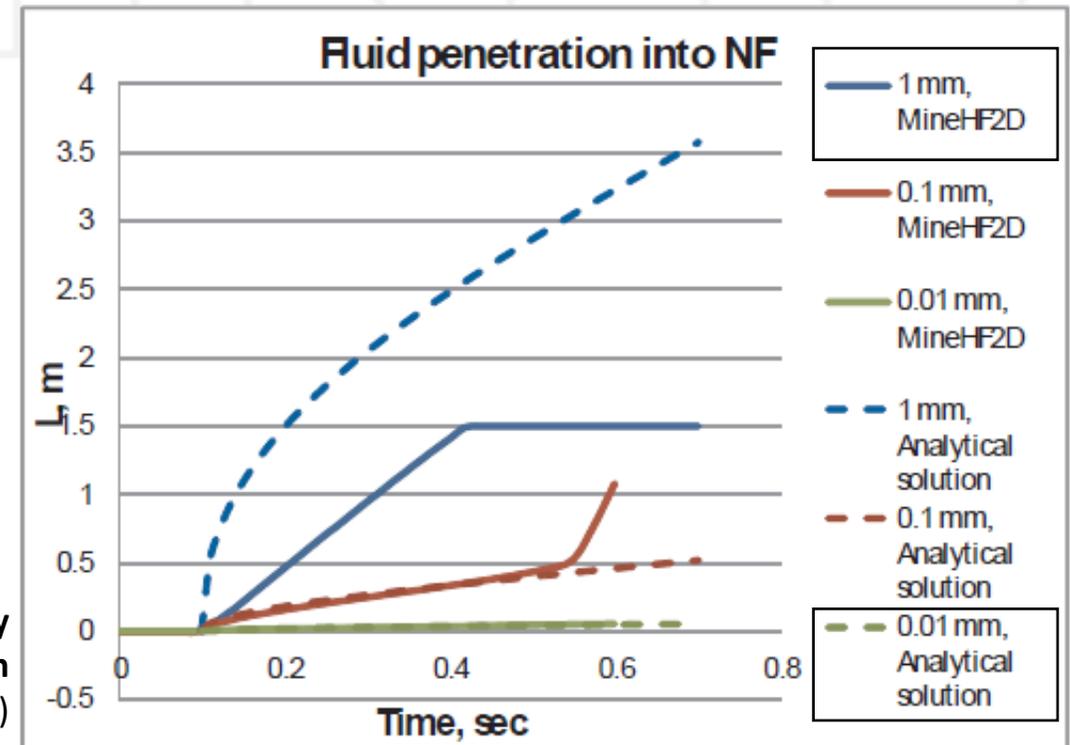
GAO(2012). **OIL AND GAS. Information on Shale Resources, Development, and Environmental and Public Health Risks.**

## Fracturas geológicas

Longitud de penetración de fluidos en las fracturas naturales (NF)

**LA INCERTIDUMBRE ES DE CERCA DE DOS ÓRDENES DE MAGNITUD: Si se estima en 100 metros la penetración de los fluidos en la fractura, podría llegar a ser cercano a 10 km.**

Hydraulic Fracture Propagation Across a Weak Discontinuity  
Controlled by Fluid Injection  
Dimitry Chuprakov, Olga Melchaeva and Romain Prioul (2013)

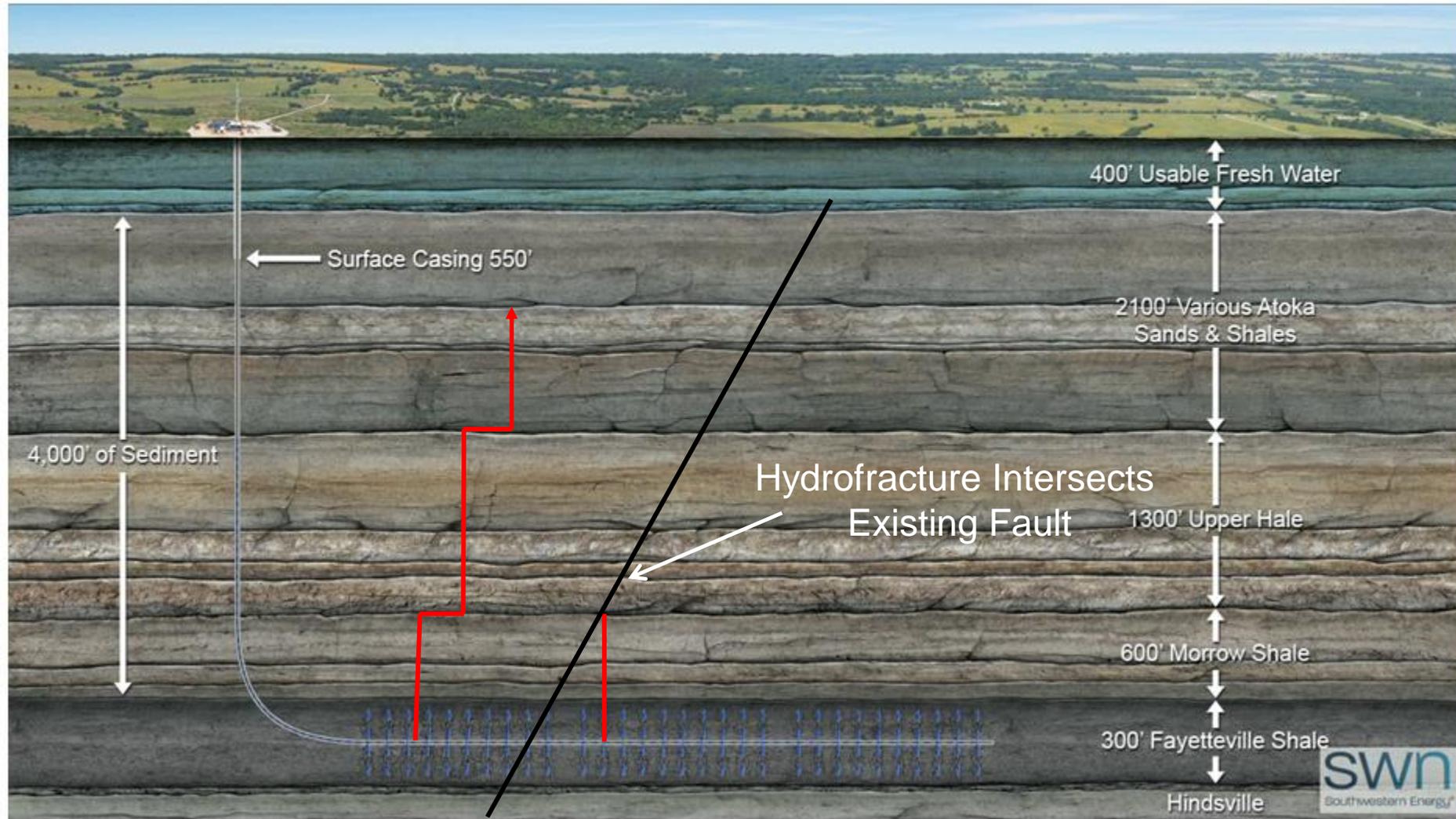


This research was mainly focused on the result of fracture interaction in terms of crossing or arresting of the HF at the NF as a function of the most sensitive parameters, such as fracture approach angle  $\beta$ , friction coefficient  $\lambda$ , dimensionless toughness  $kIC$ , inversely proportional to the injection rate and fluid viscosity, relative stress contrast  $\Delta \Sigma$ , and the NF permeability  $k$ .

**In a system of interacting hydraulic and NFs, the number of physical parameters that can affect the result of interaction is large.**

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

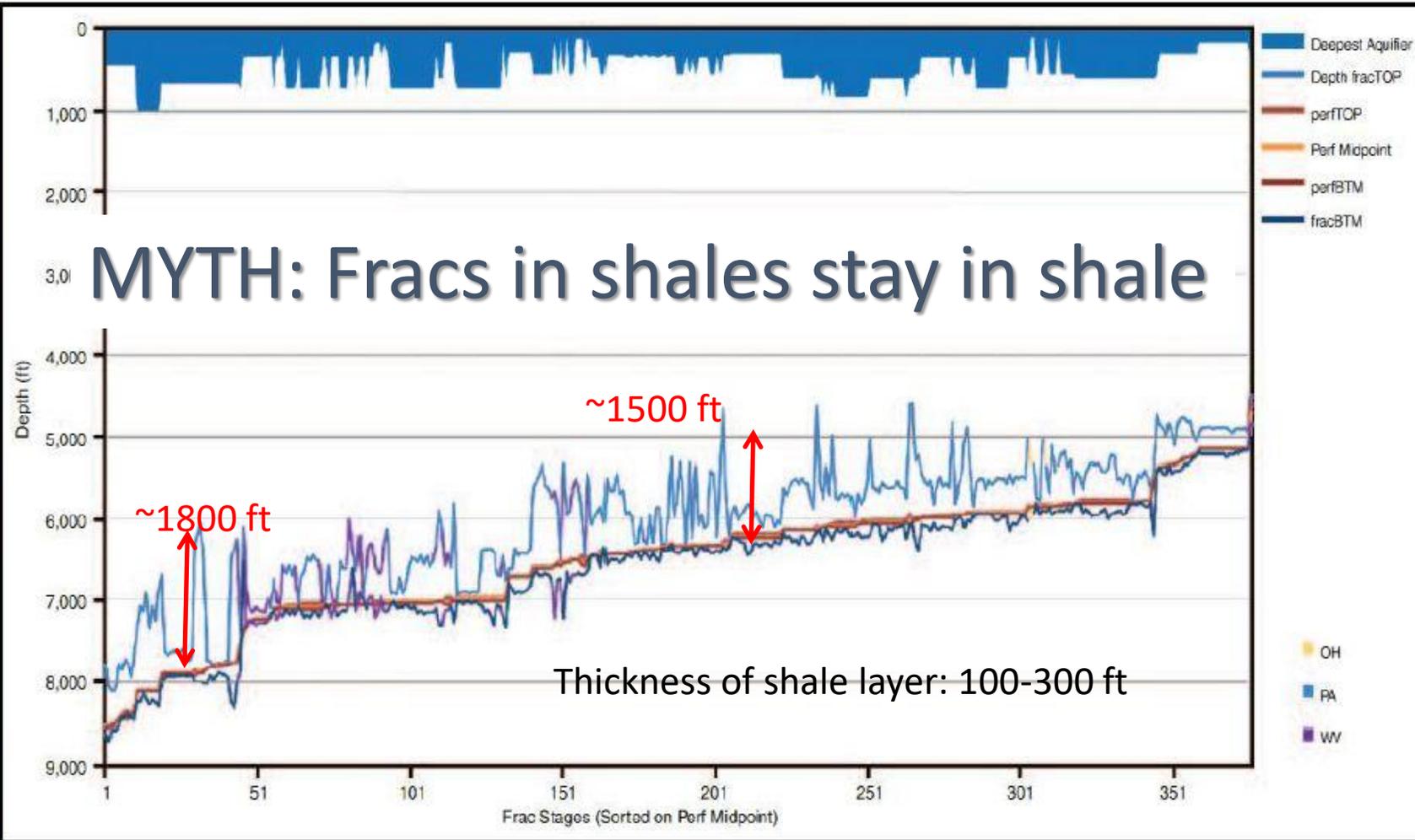
## DIFICULTADES PARA MANTENER LAS FRACTURAS HIDRÁULICAS DONDE SE NECESITAN: RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



Base Image Courtesy of Southwestern Energy

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

Marcellus Shale Mapped Fracture Treatments (TVD)

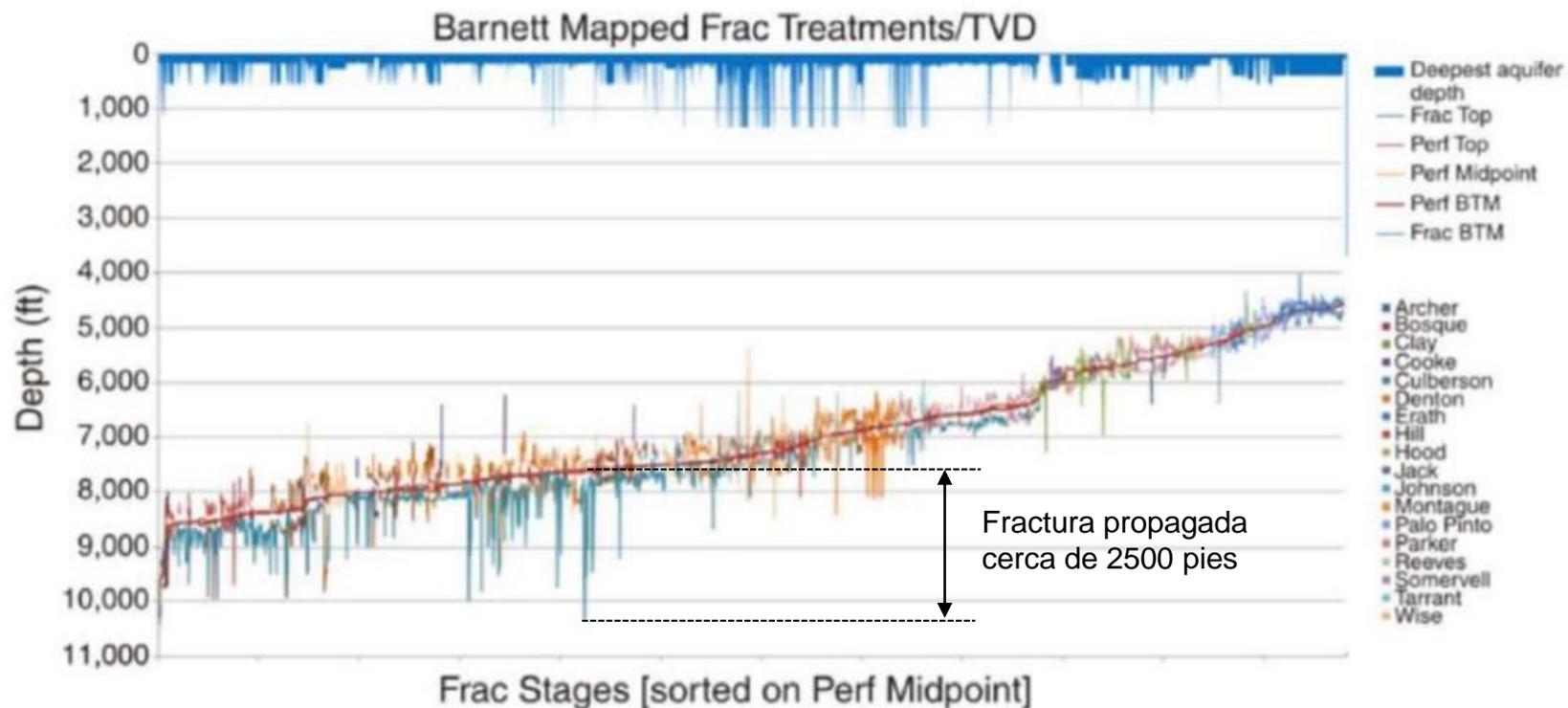


**El espesor de la capa a fracturar era de 100 a 300 pies.**

**Las fracturas se propagaron hasta 1800 pies.**

Tomado de presentación de A. Ingraffea (2013)

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación



En otros registros las fracturas se han propagado hasta 2500 pies (más de 750 metros), muy por encima de la longitud típica para fracking de 35 a 100 metros.

CO2 Injection for Enhanced Oil Recovery in Tight Oil Reservoirs

Wei Yu, Kamy Sepehrnoori, in [Shale Gas and Tight Oil Reservoir Simulation](#), 2018

## 8.4.4 Effect of Fracture Half-Length

In practice, fracture half-length is uncertain, which is hard to characterize exactly. The typical range of 110–310 ft is investigated. Fig. 8.9 presents the impact of fracture half-length on the comparison of well

Figura 1. – Crecimiento de miles de fracturas hidráulicas en la formación **Barnett** en Estados Unidos. Las líneas verticales del gráfico inferior representan el crecimiento vertical de las fracturas (el código de colores indica el condado en el cual se realizó la fractura). La línea de color rojo indica la localización de los perforados. Las líneas verticales de color azul en el gráfico superior indican la localización de los acuíferos de agua potable de mayor profundidad en cada condado (Fisher and Warpinski, 2011).

Como lo advirtió la GAO, las fracturas pueden continuar creciendo con el tiempo hasta intersectar fracturas naturales que las conecten con los acuíferos...

## Fracturas geológicas e inducidas

1. Las fracturas hidráulicas observadas en los núcleos aparecen en densidades varias y pueden mostrar interacciones y geometrías altamente complejas.
2. Las fracturas naturales pueden ser reactivadas e impactar la complejidad del fracturamiento hidráulico (Gale et al., 2018).
3. El reservorio Wolfcamp superior muestra 5 veces mas fracturas combinadas (hidráulicas, naturales y combinadas) que la Fm. Wolfcamp media (Gale et al., 2018)
5. (...) la complejidad de las fracturas limita el transporte vertical de los propantes.

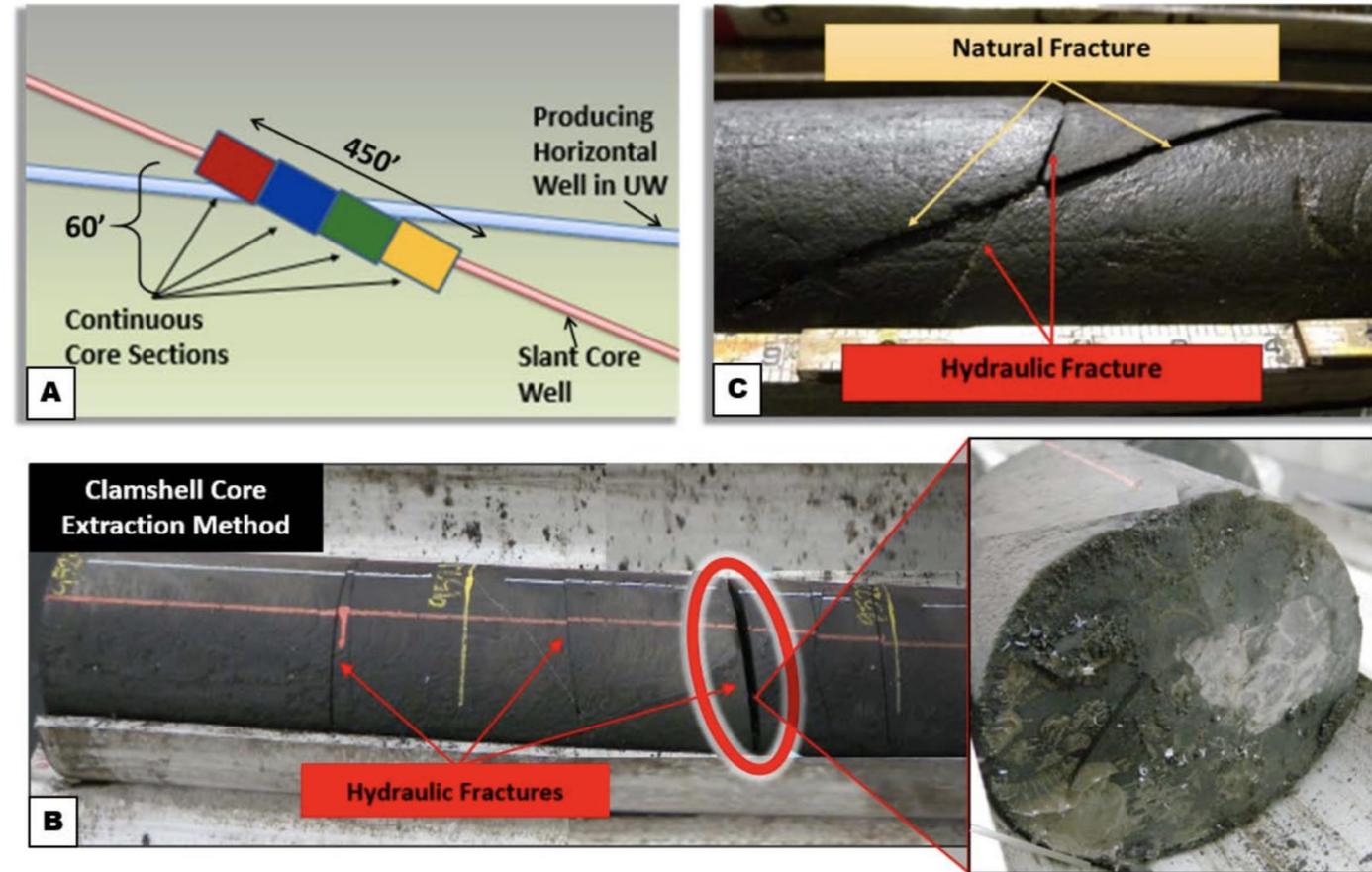


Figure 4: A) Depiction of continuous core sections collected adjacent to the stimulated producing Upper Wolfcamp well. B) Whole core interval after clamshell core barrel extraction method. Hydraulic fracture plane shown in right panel. C) Example of a hydraulic fracture cutting a natural fracture captured in the core.

Jordan Ciezobka, James Courtier, Joe Wicker, Gas Technology Institute, Laredo Petroleum, Inc. (2018). Hydraulic Fracturing Test Site (HFTS) – Project Overview and Summary of results.

## Amenaza sobre aguas

INFORMACIÓN DE LOS TALLERES DE GESTIÓN DE CONOCIMIENTO (expertos norteamericanos que fueron contratados por el gobierno colombiano para que nos enseñaran sobre Fracking)

## Marcellus Flowback Range of Water Quality

<u>Parameter</u>	<u>Concentration Range</u>
Total dissolved solids:	10,000 - >300,000 mg/L
Chloride:	5,000 - >150,000 mg/L
Sodium:	2,500 - >75,000
VOCs (primarily BTEX):	ND - 2 mg/L
Radium 226:	100 pCi/L - 16,000 pCi/L
Barium:	2,000 - 5,000 mg/L
Strontium:	1,000 - 7,000 mg/L

Los pozos “vomitan” fluidos altamente contaminados, tanto por químicos que le son adicionados en la práctica extractiva como por químicos que son liberados del subsuelo

## Amenaza sobre aguas

### INFORMACIÓN DE REFERENCIA INTERNACIONAL

Characterization of Marcellus and Barnett Shale Flowback Waters and Technology Development for Water Reuse. Tom Huyes, GTI. Hydraulic Fracturing Technical Workshop #4 - USEPA Meeting Facilities (2011)



## Selected Metals in 5-Day Flowback Water Compared to Muni Sludges

Metals *	5 – Day Flowback		Muni Sludges**	
	Range	Median	Median	95 <sup>th</sup> %ile
Chromium (Cr <sup>3+</sup> )	ND – 0.15	0.015	35	314
Copper	ND – 4.15	ND	511	1,382
Nickel	ND – 0.187	ND	22.6	84.5
Zinc	0.068 – 2.93	0.16	705	1,985
Lead	ND – 0.606	ND	65	202
Cadmium	ND – 0.009	ND	2.3	7.4
Mercury	ND - 0.00024	ND	1.5	6.0
Arsenic	ND – 0.124	0.029	3.6	18.7

\* mg/l

ND = Non Detect

\*\* Penn State, 2000 (Survey of POTW's)

Los pozos “vomitan” fluidos altamente contaminados, tanto por químicos que le son adicionados en la práctica extractiva como por químicos que son liberados del subsuelo. Estos fluidos de retorno pueden contaminar aguas y aire.

## Problemas relacionados con características geoquímicas de las rocas fuente

*“The geologic formations that contain oil and gas deposits also contain naturally-occurring radionuclides, which are referred to as Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) (...) Because the extraction process concentrates the naturally occurring radionuclides and exposes them to the surface environment and human contact, these wastes are classified as Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material (TENORM)”*  
(<https://www.epa.gov/radiation/tenorm-oil-and-gas-production-wastes>)



## Argumentos sector petrolero en Colombia

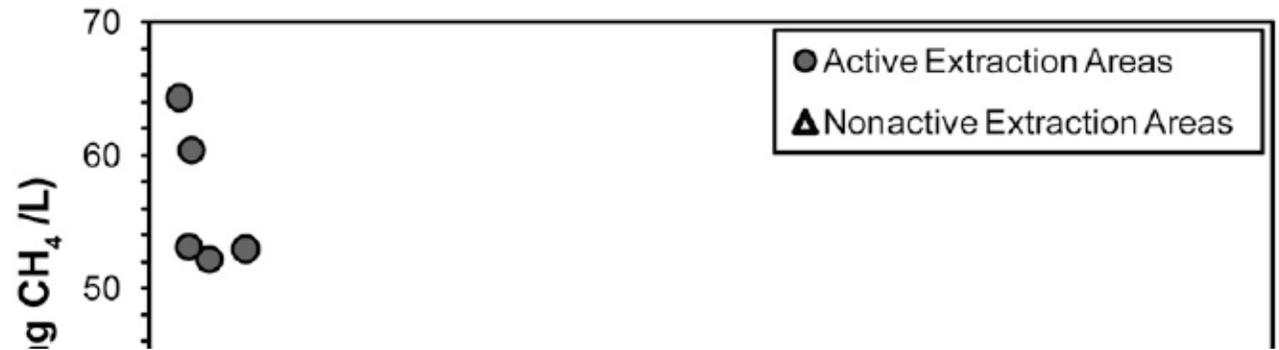
Se afirma que **NO TIENEN ELEMENTOS RADIOACTIVOS**, ¿cuál es la fuente de la información?  
*“La Formación La Luna (Cretáceo superior), da resultados anómalos de 500 a 1.100 cls y un background de 120 cls y análisis químicos entre 100 y 200 ppm de  $U_3O_8$ ”* (Clasificación genética preliminar de las manifestaciones uraníferas en Colombia – Molano, 1986)

Se hace una analogía con las formaciones generadoras en Dakota y Wyoming → ¿por qué? De ser así:  
De acuerdo a una investigación de Duke University Se analizaron muestras de agua y suelo en julio de 2015 y en algunos casos se encontraron niveles de radioactividad mayores a los estándares de agua de consumo  
<https://www.rt.com/usa/342549-north-dakota-radioactive-fracking/>

## Amenaza sobre aguas

[www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1100682108](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1100682108).

Tomado de presentación de A. Ingraffea (2013)

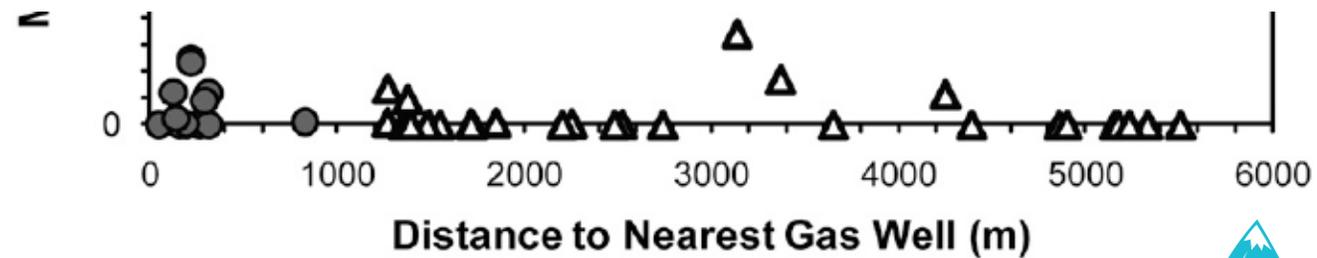


## Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing

Stephen G. Osborn<sup>a</sup>, Avner Vengosh<sup>b</sup>, Nathaniel R. Warner<sup>b</sup>, and Robert B. Jackson<sup>a,b,c,1</sup>

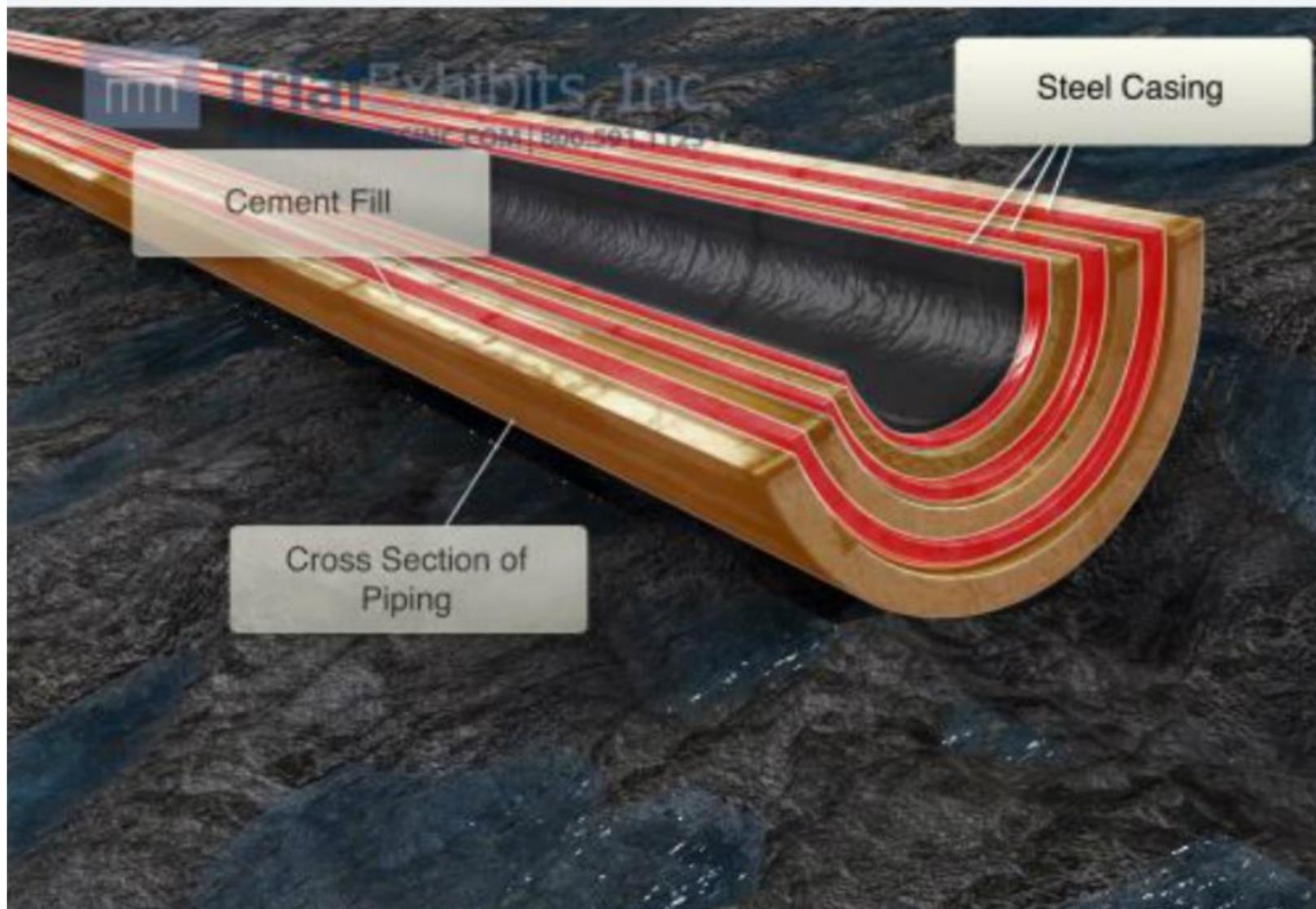
<sup>a</sup>Center on Global Change, Nicholas School of the Environment, <sup>b</sup>Division of Earth and Ocean Sciences, Nicholas School of the Environment, and <sup>c</sup>Biology Department, Duke University, Durham, NC 27708

Edited\* by William H. Schlesinger, Cary Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, NY, and approved April 14, 2011 (received for review January 13, 2011)



Contaminación al aire por metano en pozos de fracking en Estados Unidos

## La respuesta de "la industria": integridad de los pozos (cementación)



La integridad de los pozos se basa en una serie de tubos y cemento.

Tanto los metales como el cemento son susceptibles al ataque de sustancias ácidas, las cuales son connaturales a los yacimientos de lutitas.

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

## Amenaza sobre acuíferos y las fallas en la integridad de los pozos (cementación)

TABLE 1. Semi quantification of slate (bulk) based on X-ray diffraction (millipore mount).

Minerals (%)	Sample no.				
	960252	960253	960254	960255	960256
Illite	28	49	19	18	27
Rectorite	25	10	20	26	22
Chlorite	17	2	6	17	22
Pyrophyllite	5	8	4	4	6
Quartz	13	15	17	10	6
K-feldspar	3	5	3	4	4
Plagioclase	4	6	4	4	3
Dolomite	2	1	24	14	6
Pyrite	3	4	3	3	4

Total organic carbon (TOC) varies between 2.64% and 1.35% in the analysed samples and was not taken into consideration when the mineral content, based on XRD, was calculated.

BRATTLI, 1997. A rectorite-pyrophyllite-chlorite-illite assemblage in pelitic rocks from Colombia.

Los valores de pirita son muy altos en las lutitas, con contenidos típicos entre 1 y 5%.

La pirita amenaza la cementación de pozos:

- Chen, T., Montgomerie, H., Chen, P., Hagen, T., and Kegg, S. 2009.
- Kasnick, M. A. and Engen, R. J. 1989.
- Seto, C. J., and Beliveau, D. A. 2000.

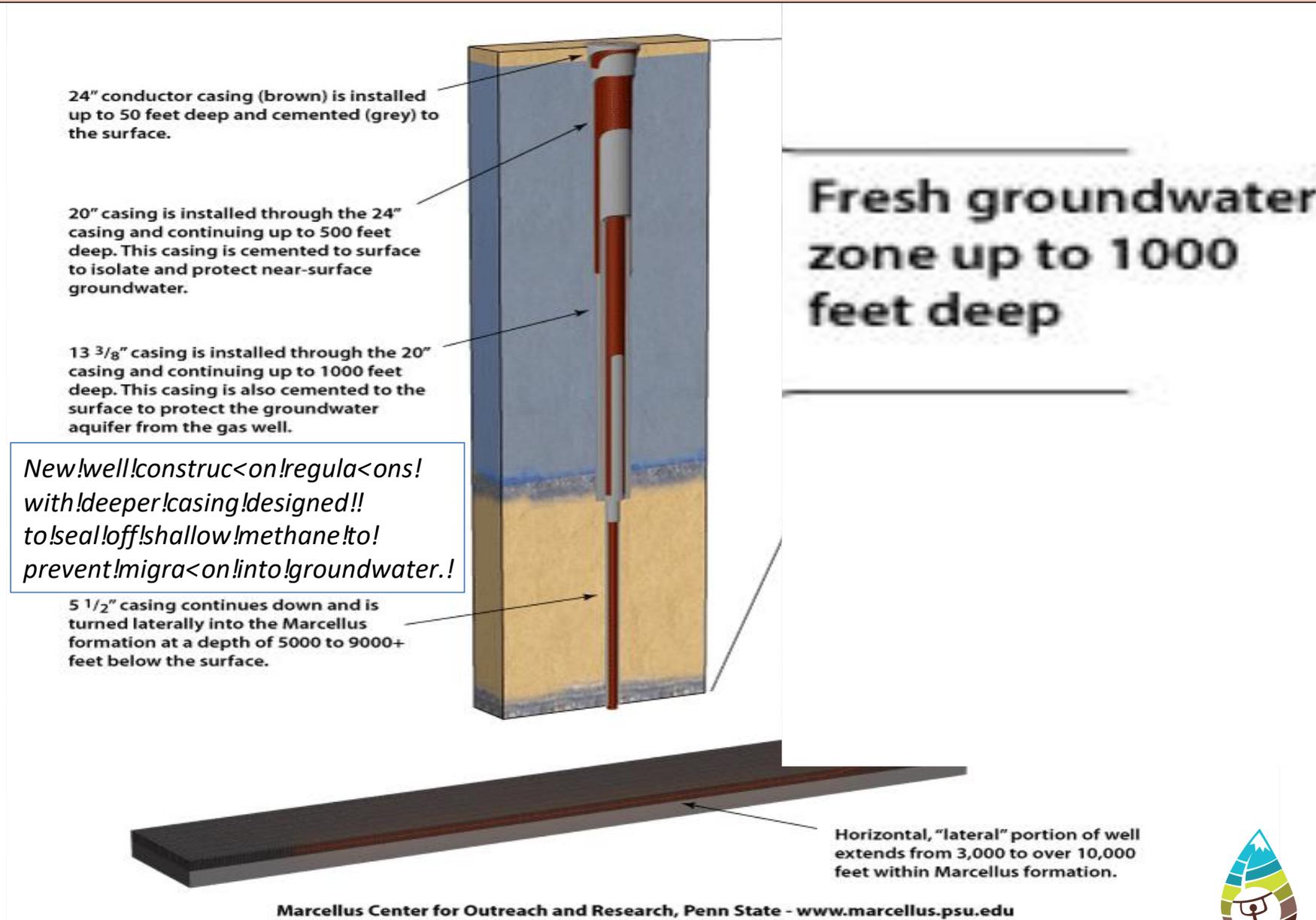
*“Iron Sulfide scale is a significant problem in oil and gas industry where the iron sulfide depositions have adverse impact to the production operations.”*

(Removal of Pyrite and Different Types of Iron Sulfide Scales in Oil and Gas Wells without H<sub>2</sub>S Generation - Mahmoud et al, 2015)

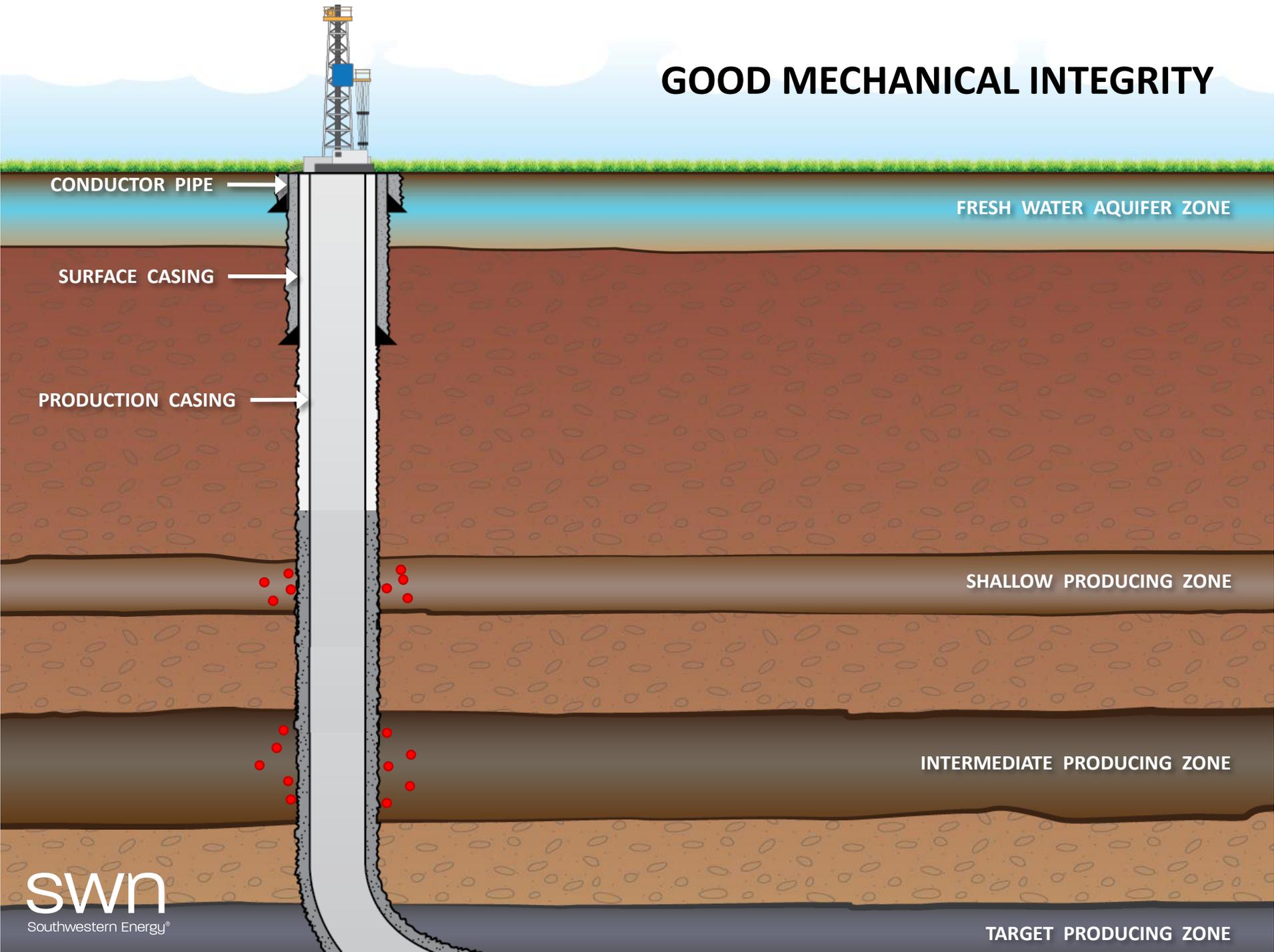
# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

Goldwyn (2012). Golden Rules for a Golden Age of Gas.

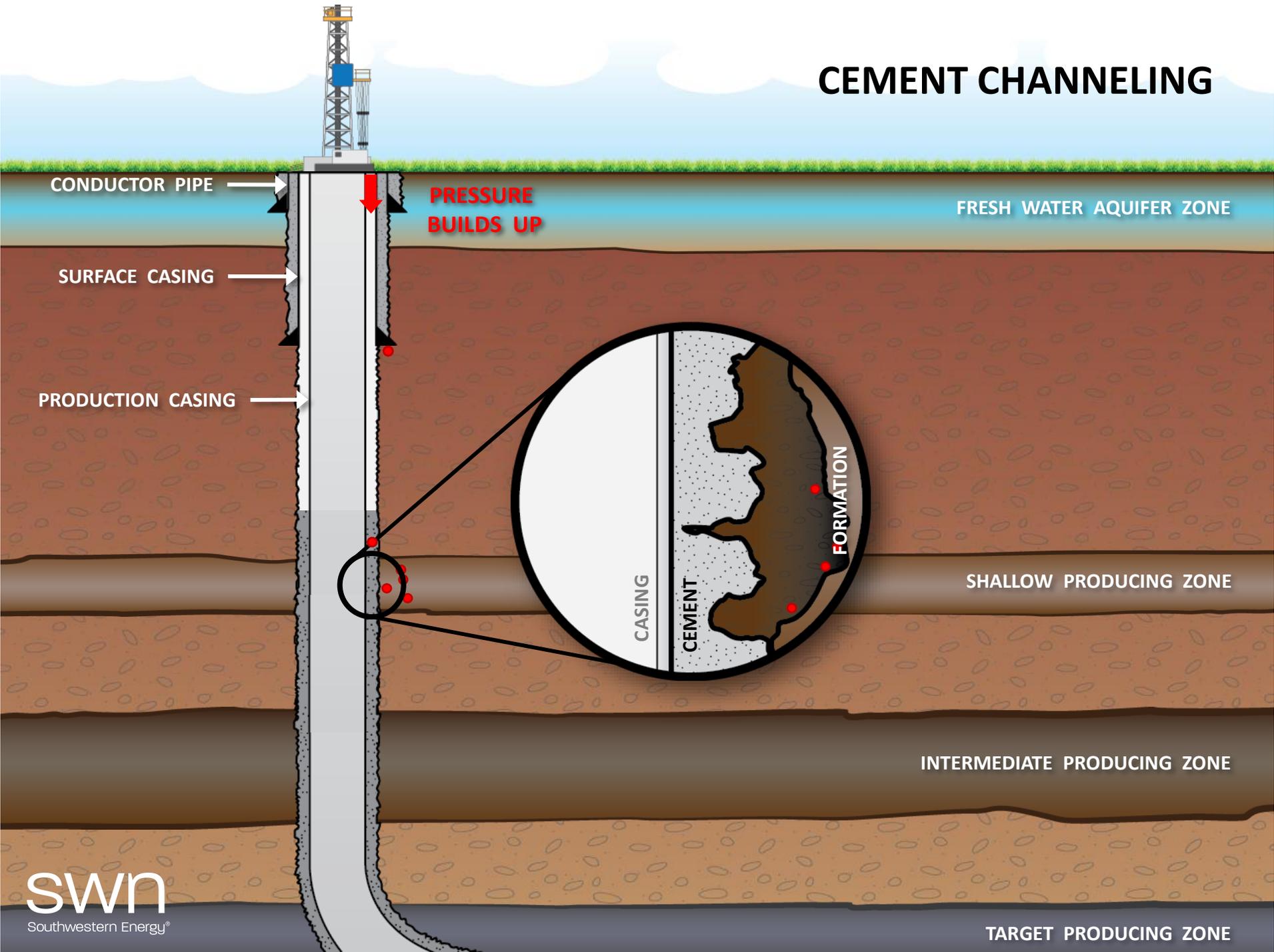
El sector petrolero suele basarse en el conocimiento adquirido en Estados Unidos, donde las condiciones hidrogeológicas son diferentes.



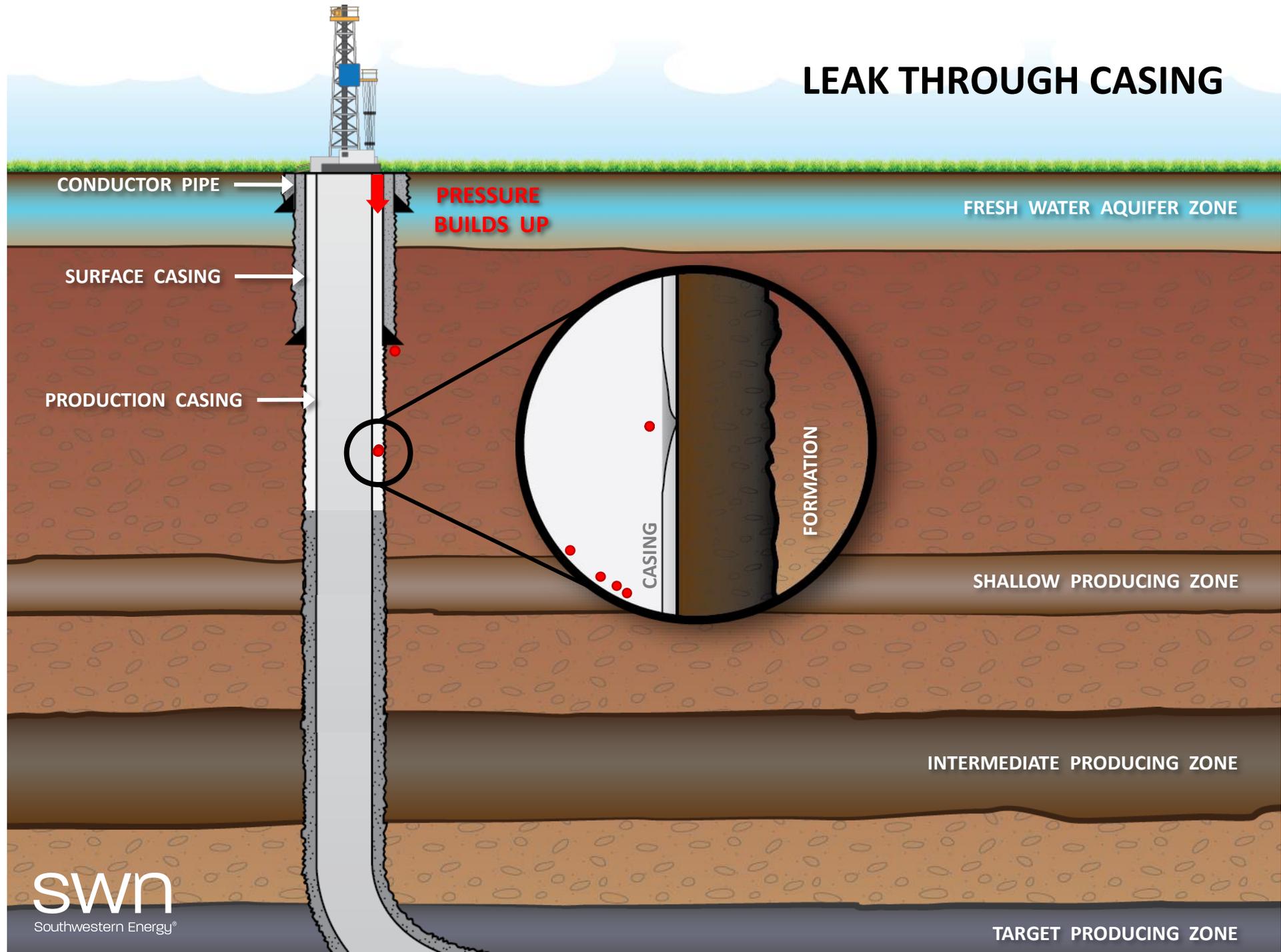
# GOOD MECHANICAL INTEGRITY



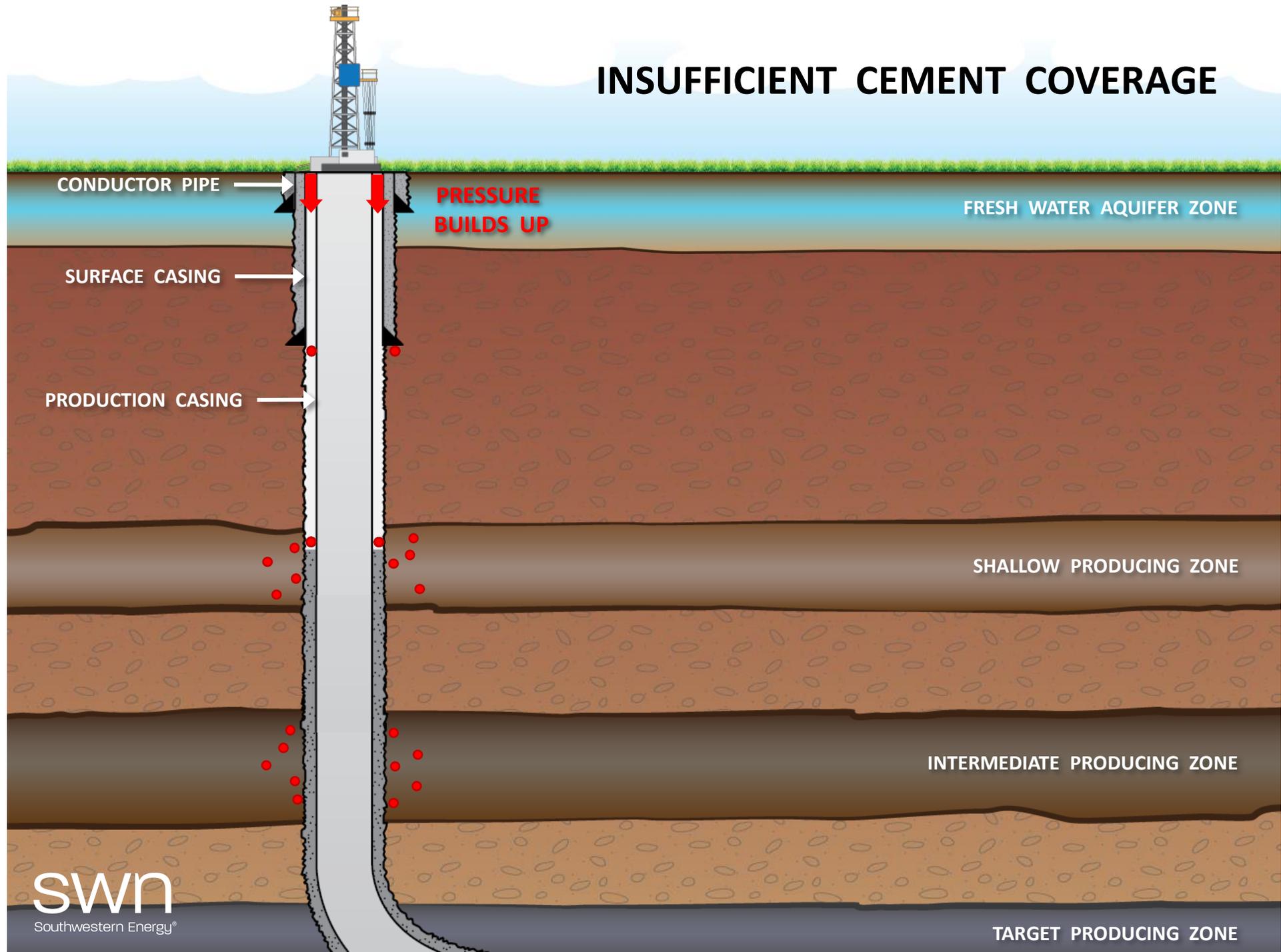
# CEMENT CHANNELING



# LEAK THROUGH CASING



# INSUFFICIENT CEMENT COVER



## Amenaza sobre acuíferos y las fallas en la integridad de los pozos (cementación)

Table 4: Shale Formation and Treatable Water Depth

Distance in feet			
Shale play	Depth to shale	Depth to base of treatable water	Distance between shale and base of treatable water
Barnett	6,500- 8,500	1,200	5,300- 7,300
Fayetteville	1,000- 7,000	500	500- 6,500
Haynesville	10,500- 13,500	400	10,100- 13,100
Marcellus	4,000- 8,500	850	2,125- 7,650
Woodford	6,000- 11,000	400	5,600- 10,600

Source: GAO analysis of data presented in a report prepared at the request of the DOE.

Note: Depths to base of treatable water are approximate. According to the report, the depth to base of treatable water was based on data from state oil and gas agencies and state geological survey data.

**OIL AND GAS.  
Information on Shale  
Resources,  
Development, and  
Environmental and  
Public Health Risks.  
GAO(2012)**

En Estados Unidos la profundidad máxima de aguas subterráneas tratables es de 1.200 pies (400 metros). NO ES IGUAL EN COLOMBIA O BOLIVIA. El acuífero Yrenda tiene aguas dulces ya detectadas a esa profundidad y puede haberlas a mayores profundidades.

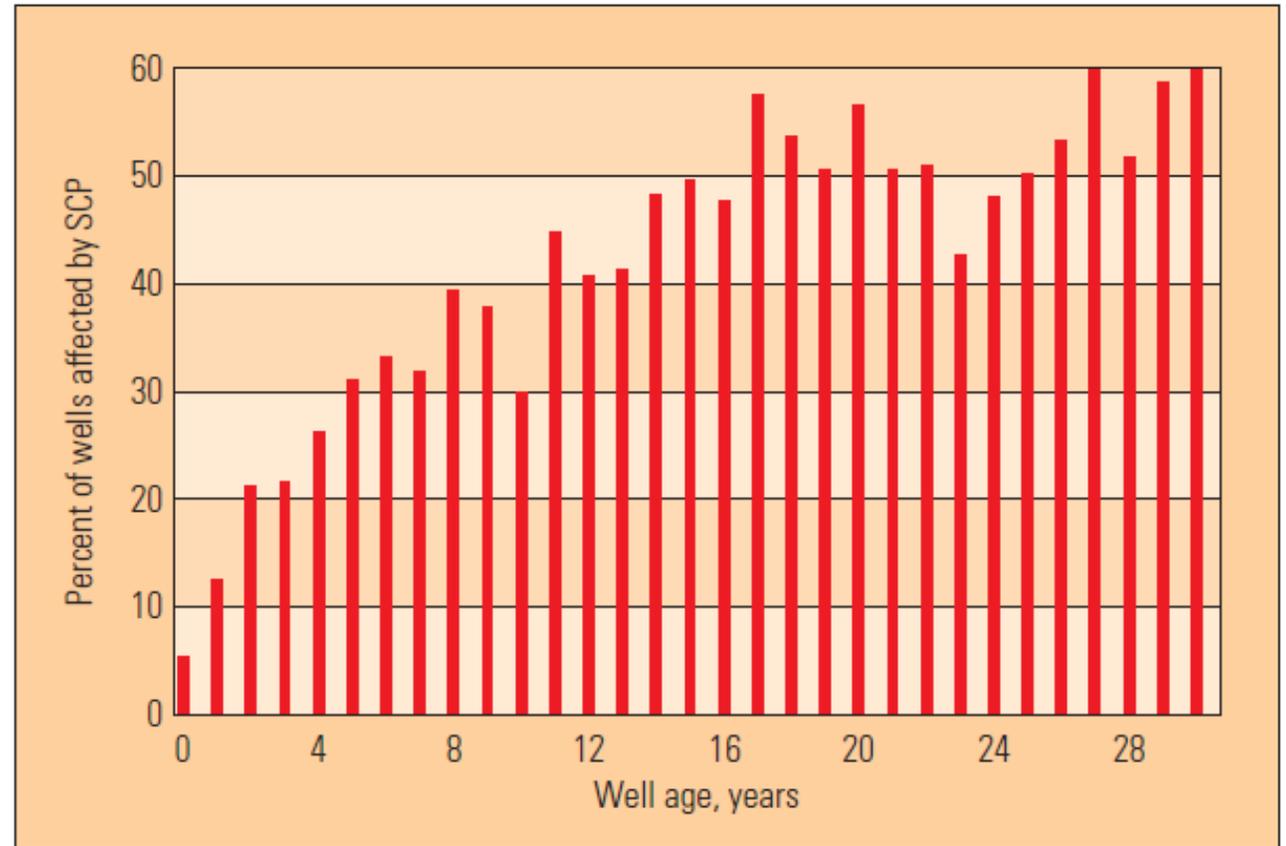
**¿A QUÉ PROFUNDIDAD IREMOS A BUSCAR EL AGUA DENTRO DE 50 AÑOS?**

## Amenaza sobre acuíferos y las fallas en la integridad de los pozos (cementación)

Cementación de pozos para evitar fugas de metano o de fluidos naturales o inyectados potencialmente contaminantes.

Pero... en pozos mar adentro, el 5% de la cementación de pozos falla el primer año y después de 15 años la mitad han fallado.

**Gráfica de Bruffato et al. (2003).**



^ Wells with SCP by age. Statistics from the United States Mineral Management Service (MMS) show the percentage of wells with SCP for wells in the outer continental shelf (OCS) area of the Gulf of Mexico, grouped by age of the wells. These data do not include wells in state waters or land locations.

## Amenaza sobre acuíferos y las fallas en la integridad de los pozos (cementación)

Datos de Australia, Austria, Bahrain, Brasil, Canadá, Holanda, Polonia, el Reino Unido y los Estados Unidos muestran que (...) el porcentaje de pozos con fallas en su integridad es muy variable (1,9 a 75%). De 8300 pozos revisados en el Marcellus Shale en Pensilvania entre 2005 y 2013, el 6,3% fueron reportados como defectuosos.

Davies et al. (2014). Oil and gas wells and their integrity: Implications for shale and unconventional resource exploitation.



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Marine and Petroleum Geology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/marpetgeo](http://www.elsevier.com/locate/marpetgeo)



Review article

Oil and gas wells and their integrity: Implications for shale and unconventional resource exploitation

Richard J. Davies<sup>a,\*</sup>, Sam Almond<sup>a</sup>, Robert S. Ward<sup>b</sup>, Robert B. Jackson<sup>c,d</sup>, Charlotte Adams<sup>a</sup>, Fred Worrall<sup>a</sup>, Liam G. Herringshaw<sup>a</sup>, Jon G. Gluyas<sup>a</sup>, Mark A. Whitehead<sup>e</sup>

<sup>a</sup>Durham Energy Institute, Department of Earth Sciences, Durham University, Science Labs, Durham DH1 3LE, UK

<sup>b</sup>Groundwater Science Directorate, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham NG12 5GG, UK

<sup>c</sup>School of Earth Sciences, Woods Institute for the Environment, and Precourt Institute for Energy, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA

<sup>d</sup>Nicholas School of the Environment, Division of Earth and Ocean Sciences, Duke University, Box 90338, 124 Science Drive, Durham, NC 27708-0338, USA

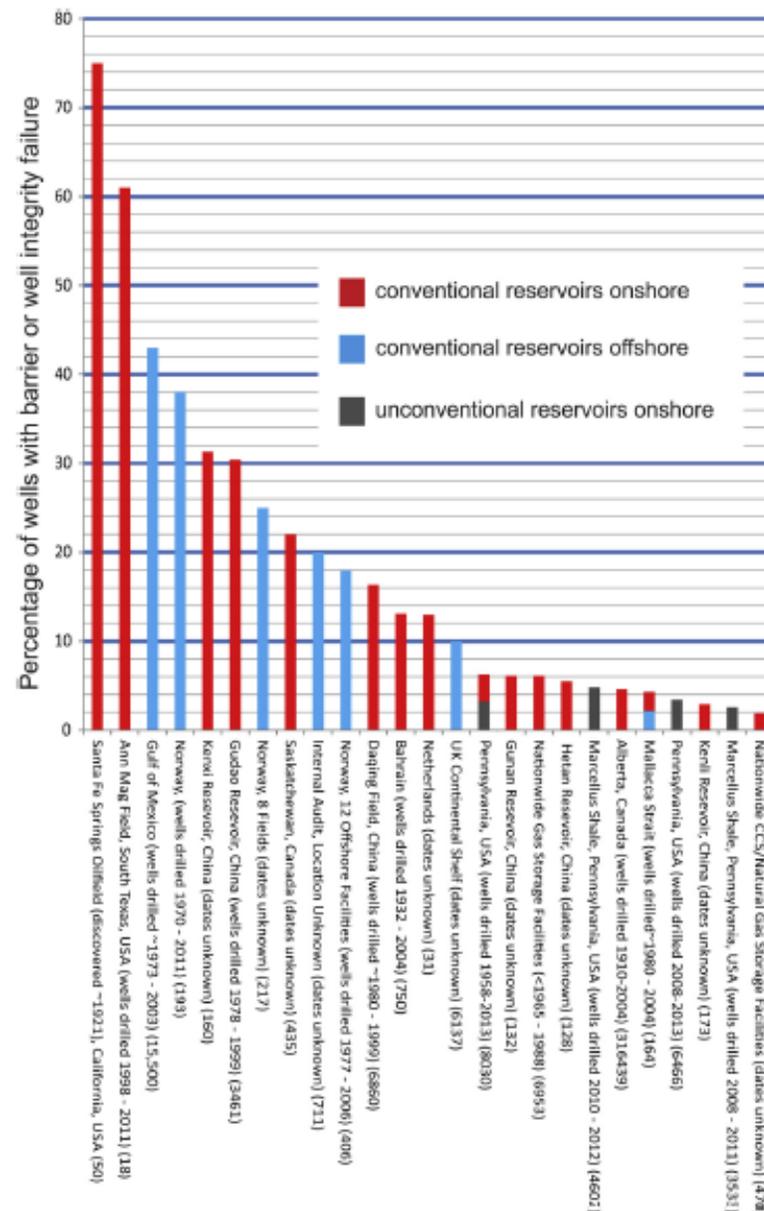
<sup>e</sup>Ward Hadaway, Sandgate House, 102 Quayside, Newcastle Upon Tyne NE13DX, UK

## Amenaza sobre acuíferos y las fallas en la integridad de los pozos (cementación)

Los no convencionales en Pensilvania presentan fallas entre el 3 y el 7%, pero este porcentaje es altísimo si se evalúa en función de la antigüedad de los pozos: 2008 a 2013

¿QUIÉN ACEPTA UN MÁRGEN DE FALLA DEL 5% PARA POTENCIAL AFECTACIÓN DE AGUA?

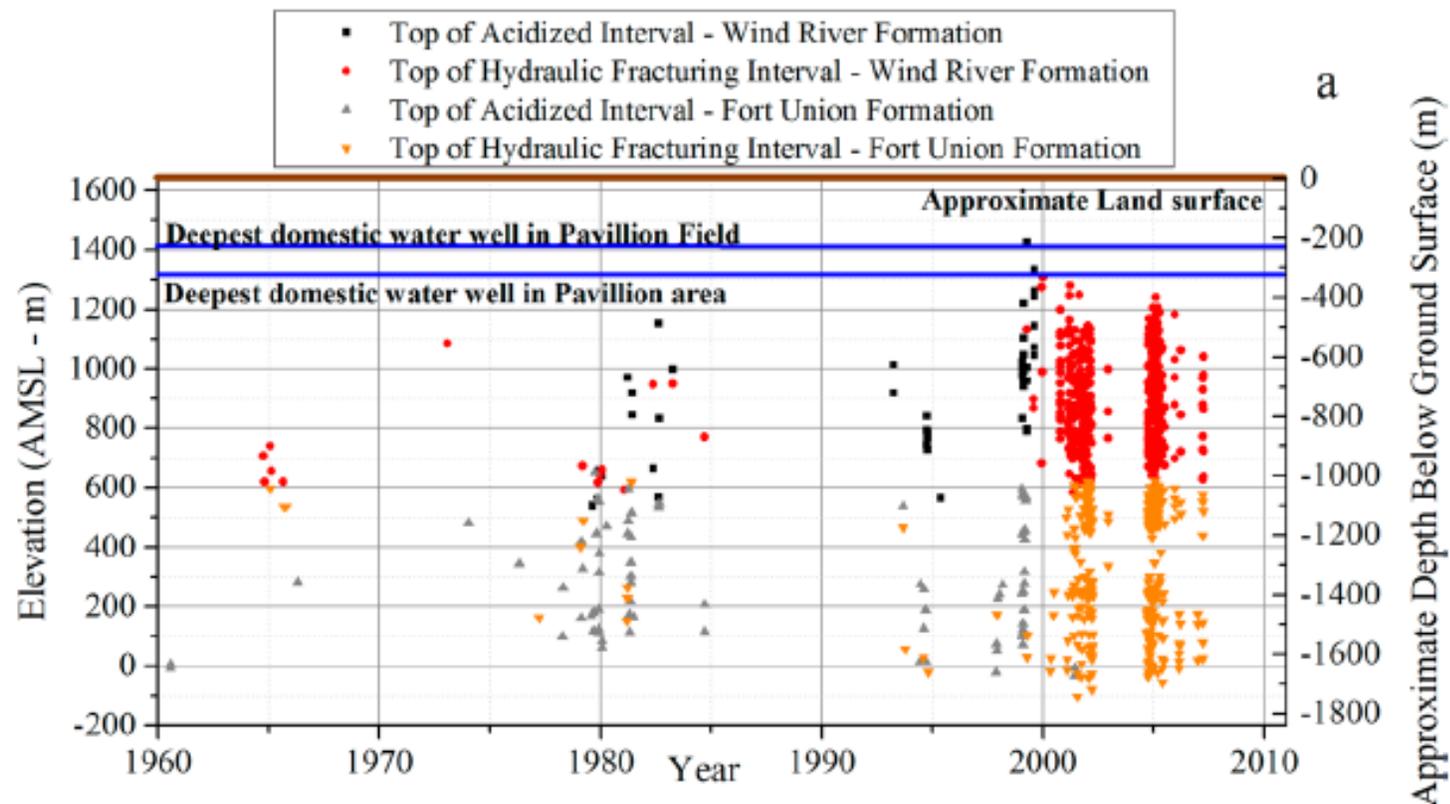
Davies et al. (2014). Oil and gas wells and their integrity: Implications for shale and unconventional resource exploitation.



## Amenaza sobre acuíferos y las fallas en la integridad de los pozos (cementación)

La detección de compuestos orgánicos usados para la estimulación de pozos en muestras de dos pozos de monitoreo instalados por la EPA evidencia los impactos del fracking en las aguas subterráneas.

La detección de diesel provenientes de lodos de perforación en pozos para uso humano sugiere impactos de las actividades petroleras en las aguas subterráneas.



Impact to Underground Sources of Drinking Water and Domestic Wells from Production Well Stimulation and Completion Practices in the Pavillion, Wyoming, Field. Dominic C. DiGiulio and Robert B. Jackson (2016)

## Amenaza sobre acuíferos y las fallas en la integridad de los pozos (cementación)

*“Based on consistent evidence from comprehensive testing, we found no indication of groundwater contamination over the **three-year** course of our study (...)*

*What we found in the new study in West Virginia is different from what we have found in previous studies in northeastern Pennsylvania and Texas (...) That’s because geology varies by region, as do the drilling operators and conditions. Time also plays a factor. **What we found in the study area in West Virginia after three years may be different from what we see after 10 years, because the impact on groundwater isn’t necessarily immediate.**”*

Este documento dice que no hay evidencias de contaminación luego de tres años, pero son conclusiones de un lugar en particular, y no se sabe que puede pasar dentro de 10 años “porque el impacto en las aguas subterráneas no es necesariamente inmediato” (Kondash, A.J., Albright, E., Vengosh, A. (2017) Quantity of Flowback and Produced Waters from Unconventional Oil and Gas Exploration. *Science of the Total Environment*).

general	—
strategic plan	
history & quick facts	
environment hall	
directions	
dean's message	
news	+
blogs	
events	+
research centers & labs	
giving	+

### WEST VIRGINIA GROUNDWATER NOT AFFECTED BY FRACKING, BUT SURFACE WATER IS

April 24, 2017

Contact: Contact: Tim Lucas 919/613-8084 tdlucas@duke.edu



## Amenaza sobre la calidad de aguas superficiales

Por décadas, aguas de alta salinidad han sido dispuestas en superficie por la explotación de aceite y gas han sido tratadas y vertidas en aguas superficiales bajo esquemas de permisos (National Pollutant Discharge Elimination System).

En Pennsylvania, una parte de estas aguas residuales tratadas y vertidas provienen de pozos de yacimientos no convencionales (de las lutitas del Marcellus)

Las investigaciones sugieren que (1) mejillones de agua dulce pueden usarse como objetos de monitorio de cambio en la calidad del agua y (2) los contaminantes relacionados probablemente con petróleo y gas se bioacumulan en áreas de vertimientos en aguas superficiales.

## Accumulation of Marcellus Formation Oil and Gas Wastewater Metals in Freshwater Mussel Shells

Thomas J. Geeza,<sup>†</sup> David P. Gillikin,<sup>‡</sup> Bonnie McDevitt,<sup>†</sup> Katherine Van Sice,<sup>†</sup> and Nathaniel R. Warner<sup>\*†</sup>

<sup>†</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, The Pennsylvania State University, 212 Sackett Building, University Park, Pennsylvania 16802, United States

<sup>‡</sup>Department of Geology, Union College, 807 Union St, Schenectady, New York 12308, United States

### Supporting Information

**ABSTRACT:** For several decades, high-salinity water brought to the surface during oil and gas (O&G) production has been treated and discharged to waterways under National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) permits. In Pennsylvania, USA, a portion of the treated O&G wastewater discharged to streams from 2008 to 2011 originated from unconventional (Marcellus) wells. We collected freshwater mussels, *Elliptio dilatata* and *Elliptio complanata*, both upstream and downstream of a NPDES-permitted facility, and for comparison, we also collected mussels from the Juniata and Delaware Rivers that have no reported O&G discharge. We observed changes in both the  $\text{Sr}/\text{Ca}_{\text{shell}}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{shell}}$  in shell samples collected downstream of the facility that corresponded to the time period of greatest Marcellus wastewater disposal (2009–2011). Importantly, the changes in  $\text{Sr}/\text{Ca}_{\text{shell}}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{shell}}$  shifted toward values characteristic of O&G wastewater produced from the Marcellus Formation. Conversely, shells collected upstream of the discharge and from waterways without treatment facilities showed lower variability and no trend in either  $\text{Sr}/\text{Ca}_{\text{shell}}$  or  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{shell}}$  with time (2008–2015). These findings suggest that (1) freshwater mussels may be used to monitor changes in water chemistry through time and help identify specific pollutant sources and (2) O&G contaminants likely bioaccumulated in areas of surface water disposal.



## Sismicidad inducida/desencadenada

### Induced Seismicity

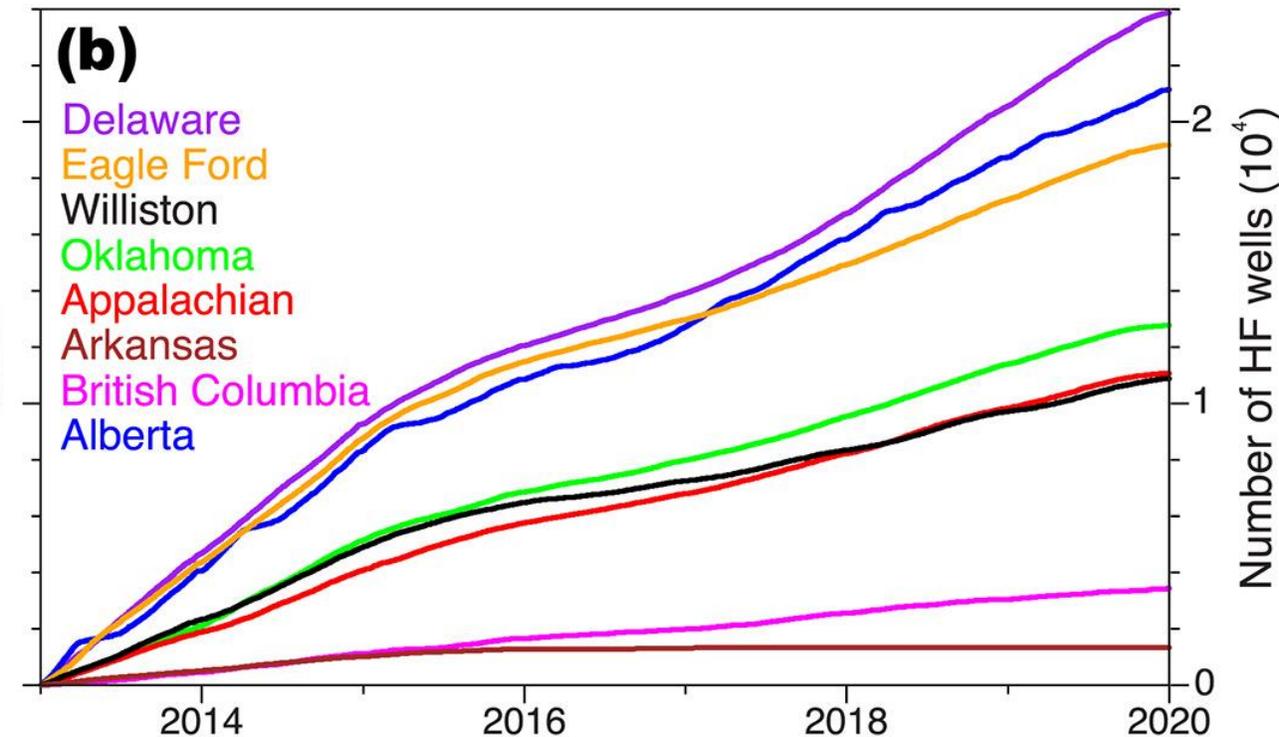
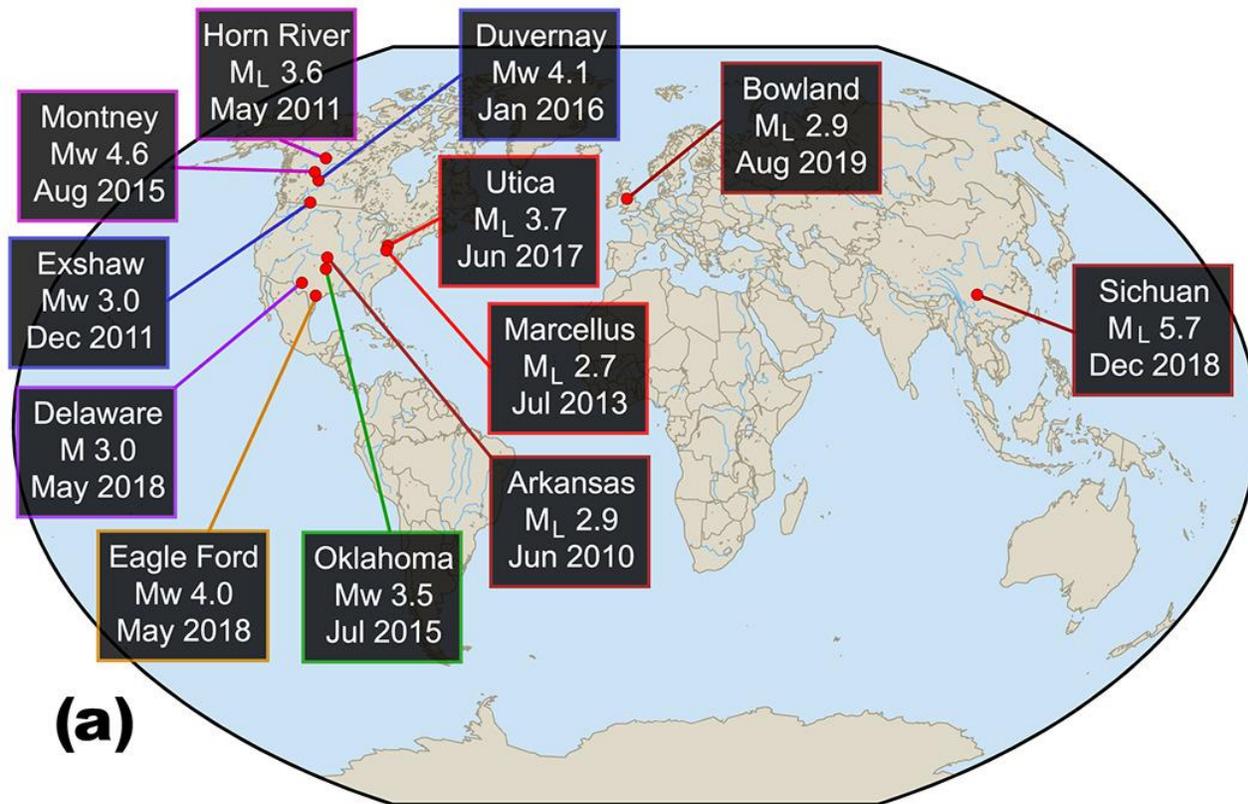
(...) the hydraulic fracturing process releases energy deep beneath the surface to break rock but the energy released is not large enough to trigger a seismic event that could be felt on the surface.

However, **a process commonly used by operators to dispose of waste fluids—underground injection—has been associated with earthquakes** in some locations. For example, a 2011 Oklahoma Geological Survey study reported that underground injection can induce seismicity. In March 2012, the Ohio Department of Natural Resources reported that “there is a compelling argument” that the injection of produced water into underground injection wells was the cause of the 2011 earthquakes near Youngstown, Ohio. In addition, the National Academy of Sciences released a study in June 2012 that concluded that underground injection of wastes poses some risk for induced seismicity (...)

GAO(2012). **OIL AND GAS. Information on Shale Resources, Development, and Environmental and Public Health Risks.**

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

## Sismicidad inducida/desencadenada

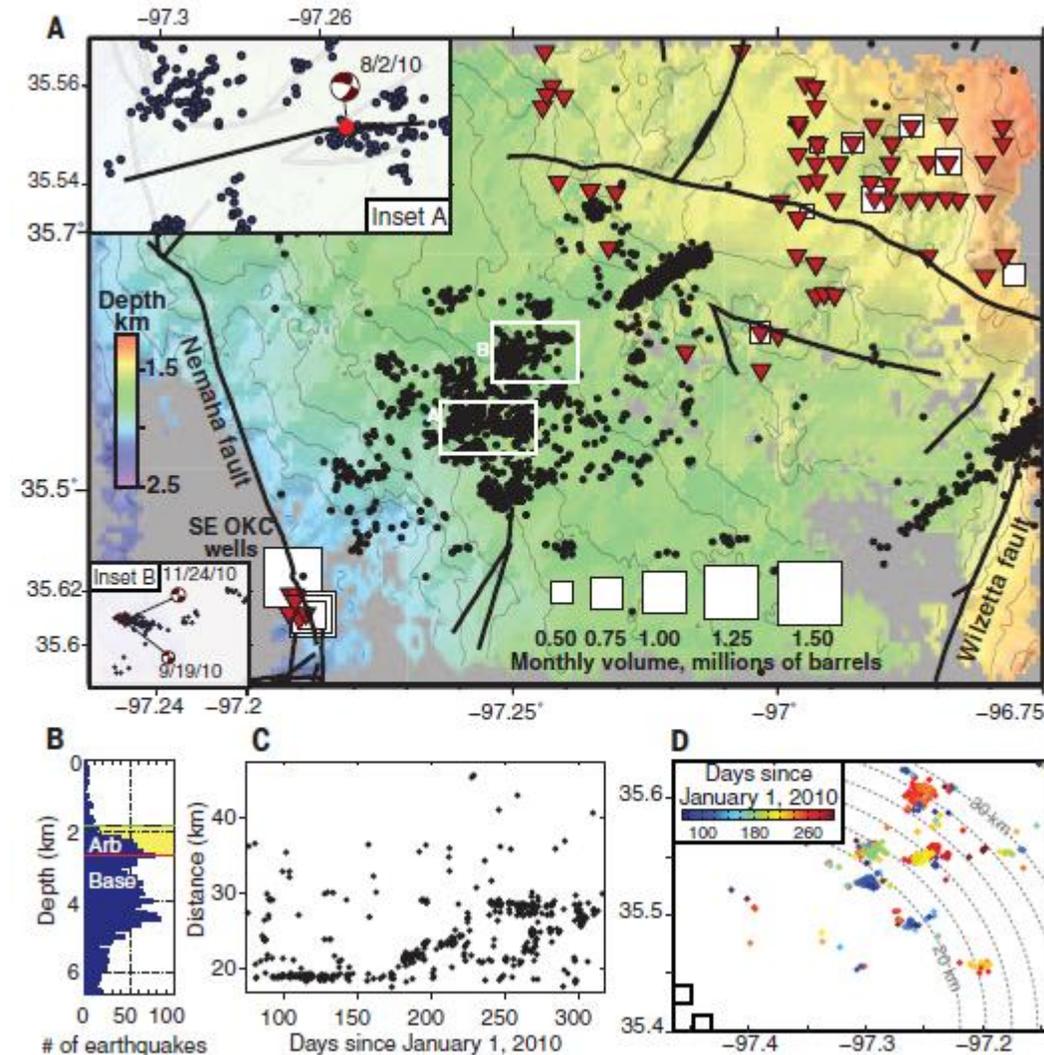


Hydraulic Fracturing-Induced Seismicity. [Ryan Schultz](#), [Robert J. Skoumal](#) & [Michael R. Brudzinski](#). 12 June 2020. Reviews of Geophysics, Vol 58 (3)  
<https://doi.org/10.1029/2019RG000695>

## Sismicidad inducida/desencadenada

En Oklahoma, la relación entre sismos e inyección de aguas residuales industriales petroleras se relacionan de manera inequívoca con un aumento de hasta el 20% en la sismicidad por disposición de aguas en profundidades de 2 a 5 km. No obstante, su influencia abarca hasta los 35 km con sismos que han llegado a 5,6 de magnitud.

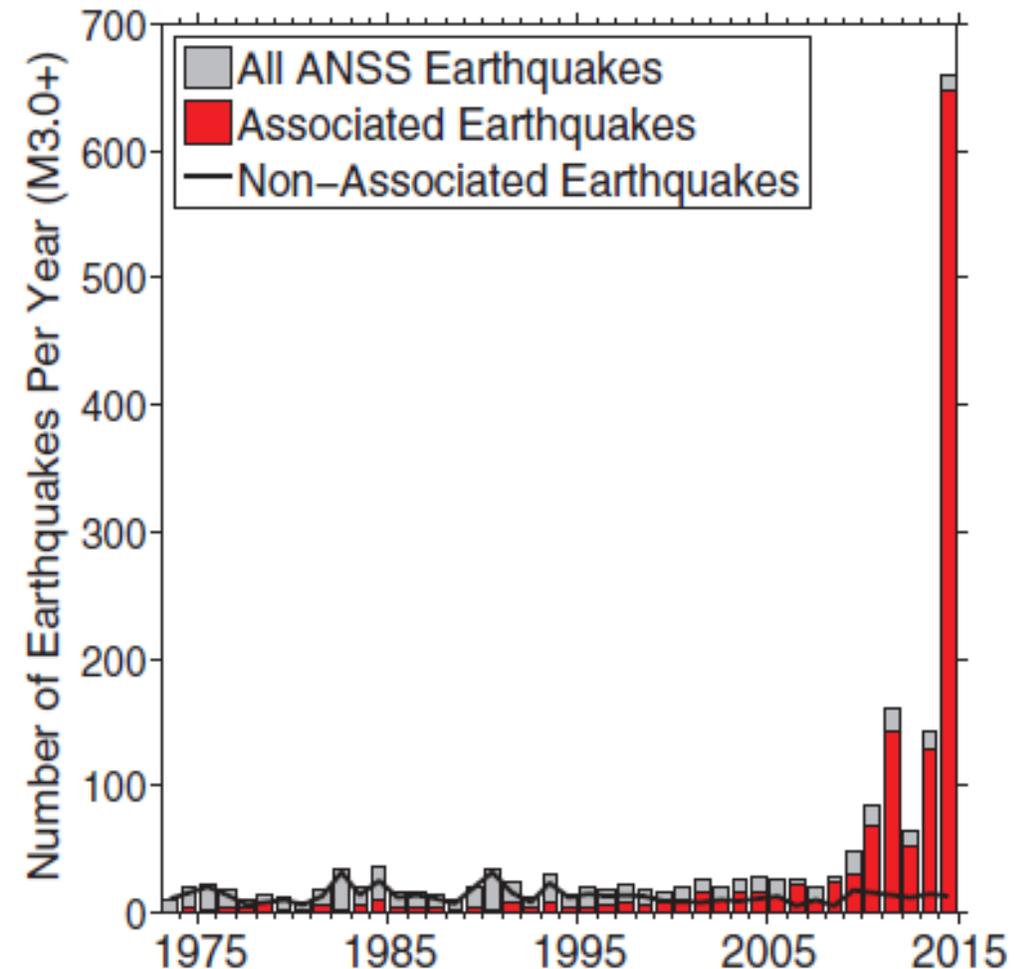
Sharp increase in central Oklahoma seismicity since 2008 induced by massive wastewater injection  
K. M. Keranen, M. Weingarten, G. A. Abers, B. A. Bekins (2014)



## Sismicidad inducida/desencadenada

Sismos asociados y no asociados por año en la zona central de EE.UU. centro del continente de 1973 a 2014. Las barras rojas representan el número de sismos que son espacio - temporalmente asociados a los pozos de inyección, los cuales han aumentado desde 1 a 7 por año en la década de 1970 hasta 75 a 190 por año entre 2011 y 2013, y a más de 650 terremotos en 2014.

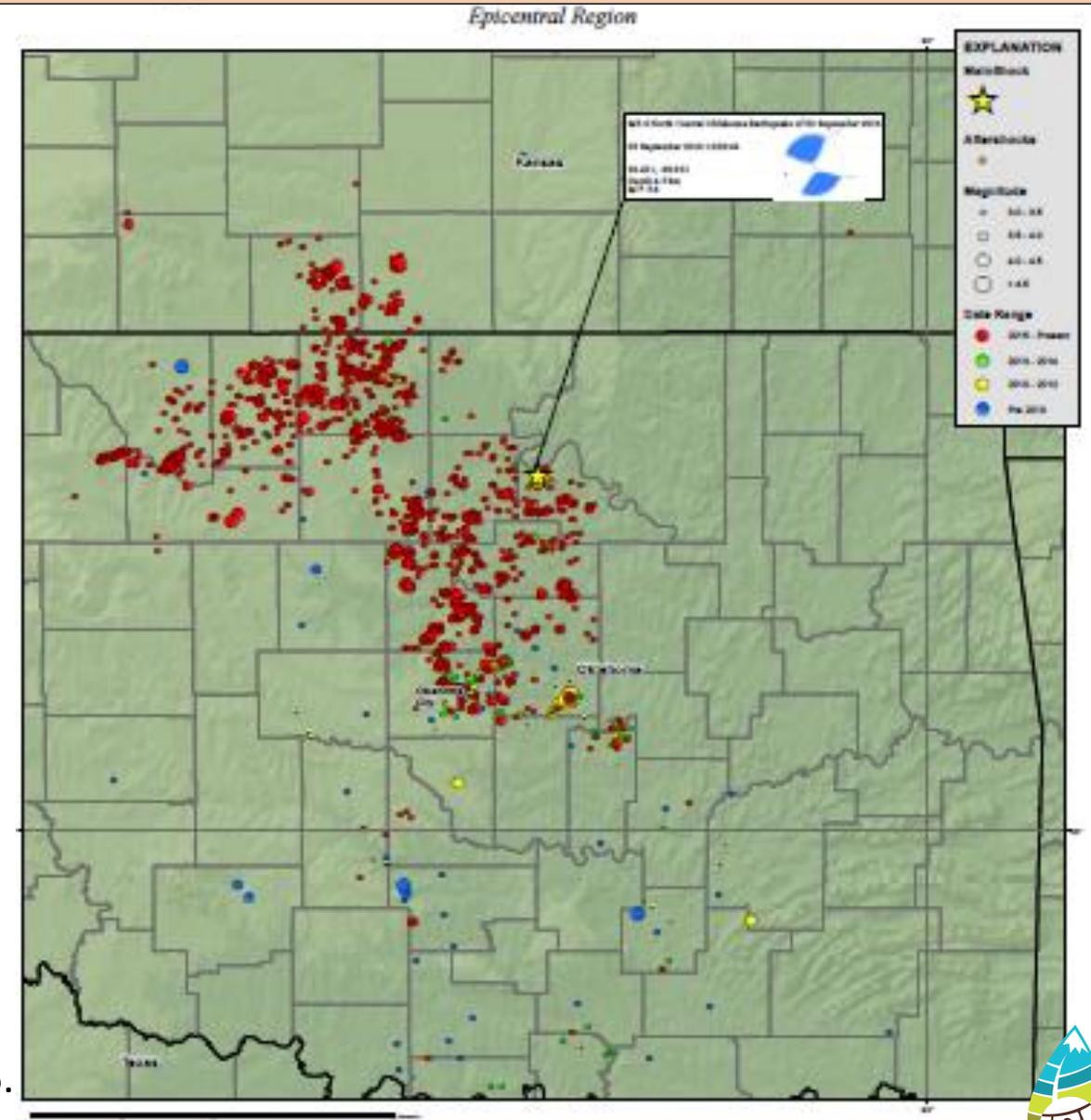
High-rate injection is associated with the increase in U.S. mid-continent seismicity.  
M. Weingarten, S. Ge, J. W. Godt, B. A. Bekins, J. L. Rubinstein (2015)



## Sismicidad inducida/desencadenada

En Oklahoma la actividad petrolera se ha relacionado con 3 sismos con magnitud mayor de 5: **Prague (nov. 2011) con 5,6** y **Fairview (feb. 2016) con 5,1** y **North Central Oklahoma (sep. 2016) con 5,6**. Estudios científicos han vinculado la mayoría de estos a la reinyección de aguas residuales industriales relacionadas con la explotación petrolera.

**M5.6 North Central Oklahoma  
Earthquake of 03 September 2016.**  
USGS (2016)



## Sismicidad inducida/desencadenada

La inyección de fluidos puede causar una extensa actividad sísmica, a veces a inesperadas grandes distancias. (...)

Se analizaron 18 casos con clara asociación entre pozos aislados y sismos.

(Thomas H. W. Goebel and Emily E. Brodsky, 2018).

Large-scale, field-wide injection can perturb faults and induce earthquakes more than 30 km away

Science

INDUCED SEISMICITY

## The spatial footprint of injection wells in a global compilation of induced earthquake sequences

Thomas H. W. Goebel\*† and Emily E. Brodsky†

Fluid injection can cause extensive earthquake activity, sometimes at unexpectedly large distances. Appropriately mitigating associated seismic hazards requires a better understanding of the zone of influence of injection. We analyze spatial seismicity decay in a global dataset of 18 induced cases with clear association between isolated wells and earthquakes. We distinguish two populations. The first is characterized by near-well seismicity density plateaus and abrupt decay, dominated by square-root space-time migration and pressure diffusion. Injection at these sites occurs within the crystalline basement. The second population exhibits larger spatial footprints and magnitudes, as well as a power law-like, steady spatial decay over more than 10 kilometers, potentially caused by poroelastic effects. Far-reaching spatial effects during injection may increase event magnitudes and seismic hazard beyond expectations based on purely pressure-driven seismicity.

REPORTS

## Sismicidad inducida/desencadenada por fracking

Sismicidad relacionada con fracturamiento hidráulico que ha generado eventos sísmicos de **magnitud hasta de 3,9**. Las fallas geológicas que se relacionan con los sismos se ubican a más de 1 km de las zonas de inyección de agua (Bao & Eaton, 2016).

Science

REPORTS

Cite as: X. Bao, D. W. Eaton, *Science*  
10.1126/science.aag2583 (2016).

### Fault activation by hydraulic fracturing in western Canada

Xuewei Bao and David W. Eaton\*

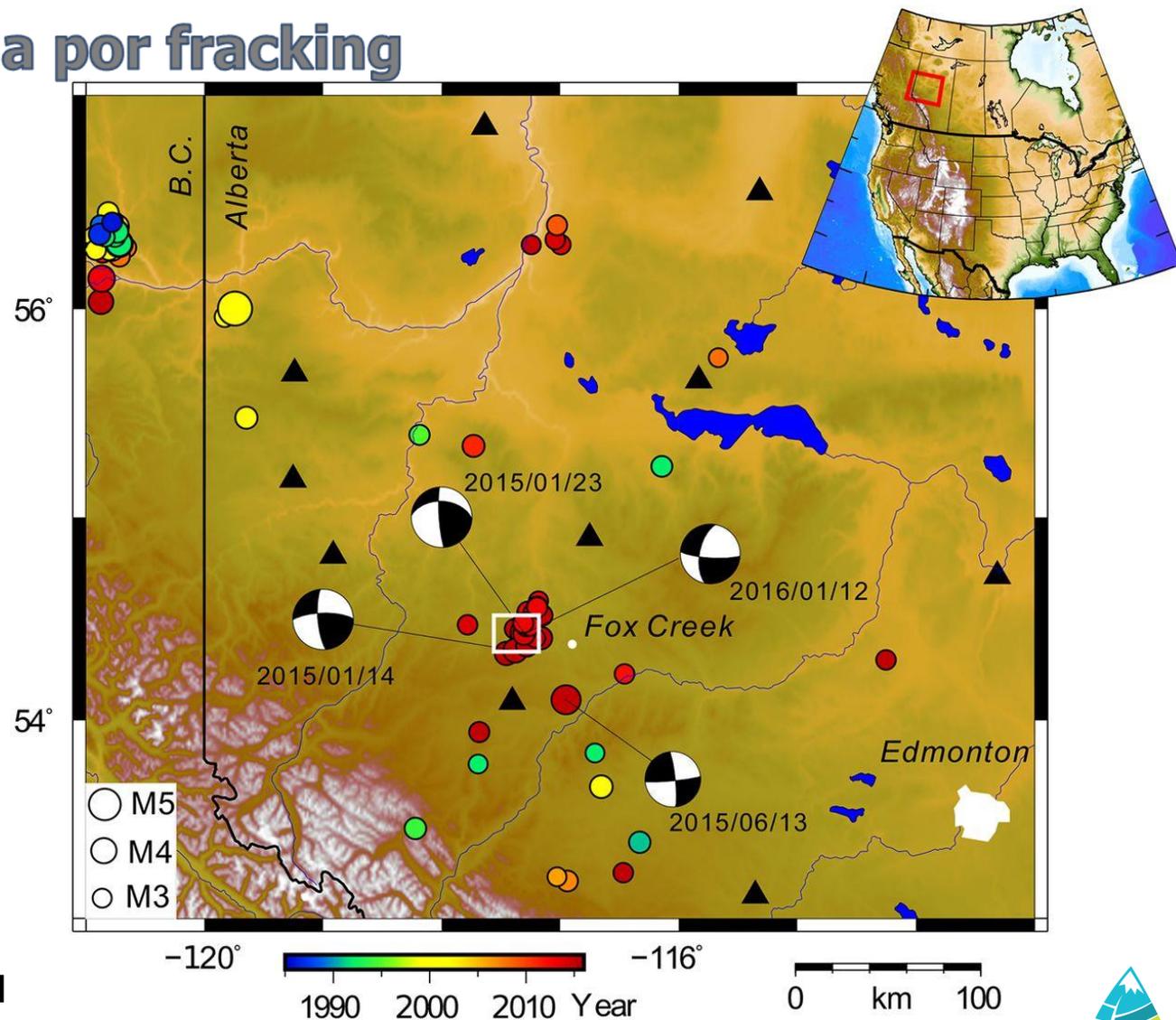
Department of Geoscience, University of Calgary, Calgary, Alberta T1N 1N4, Canada.

\*Corresponding author. E-mail: eatond@ucalgary.ca

Hydraulic fracturing has been inferred to trigger the majority of injection-induced earthquakes in western Canada, in contrast to the midwestern United States where massive saltwater disposal is the dominant triggering mechanism. A template-based earthquake catalog from a seismically active Canadian shale play, combined with comprehensive injection data during a 4-month interval, shows that earthquakes are tightly clustered in space and time near hydraulic fracturing sites. The largest event [moment magnitude ( $M_w$ ) 3.9] occurred several weeks after injection along a fault that appears to extend from the injection zone into crystalline basement. Patterns of seismicity indicate that stress changes during operations can activate fault slip to an offset distance of >1 km, whereas pressurization by hydraulic fracturing into a fault yields episodic seismicity that can persist for months.

## Sismicidad inducida/desencadenada por fracking

Sismicidad relacionada con fracturamiento hidráulico que ha generado eventos sísmicos de magnitud hasta de 3,9. Las fallas geológicas que se relacionan con los sismos se ubican a más de 1 km de las zonas de inyección de agua (Bao & Eaton, 2016).



Seismicity of northwestern Alberta, Canada for the period 1985–2016.

## Sismicidad inducida/desencadenada por fracking

Sismicidad relacionada con fracturamiento hidráulico que ha generado eventos sísmicos de magnitud hasta de 2,8. Se reactivaron fallas pre-existentes. Estos eventos llevaron a la prohibición del fracking en Inglaterra.

**Geomechanical Interpretation of Induced Seismicity at the Preston New Road PNR-2 Well, Lancashire, England.**

**April 2020**

**Report Commissioned by the Oil and Gas Authority, London James Verdon, Tom Kettlety, Michael Kendall.**

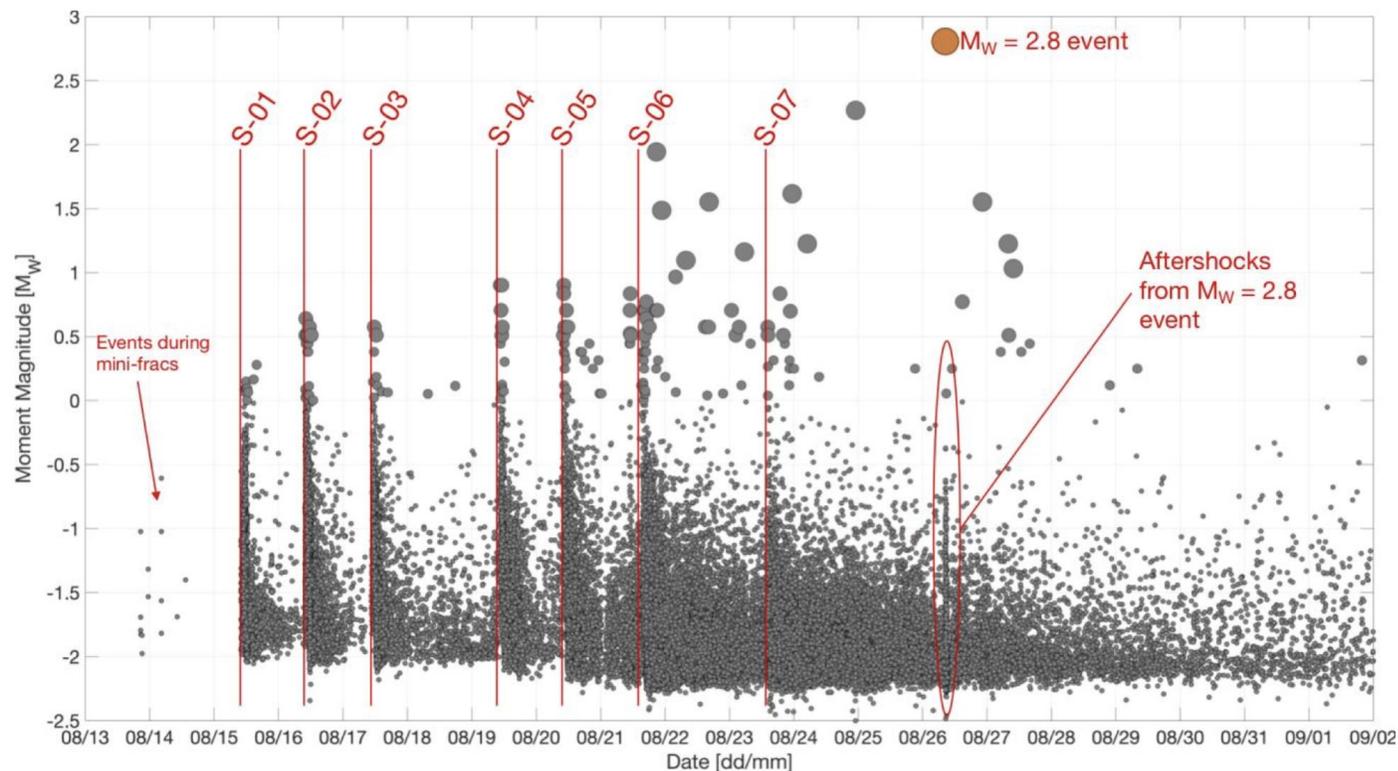


Figure 3.1: Timeline of seismicity at PNR-2. Each stage was accompanied by a burst of events. The first significant levels of seismicity were observed following Stage 6, while the  $M_w = 2.8$  event occurred more than 48 hours after injection into Stage 7.

## Sismicidad inducida/desencadenada por fracking

RESEARCH ARTICLE | APRIL 03, 2019

### The December 2018 ML 5.7 and January 2019 ML 5.3 Earthquakes in South Sichuan Basin Induced by Shale Gas Hydraulic Fracturing

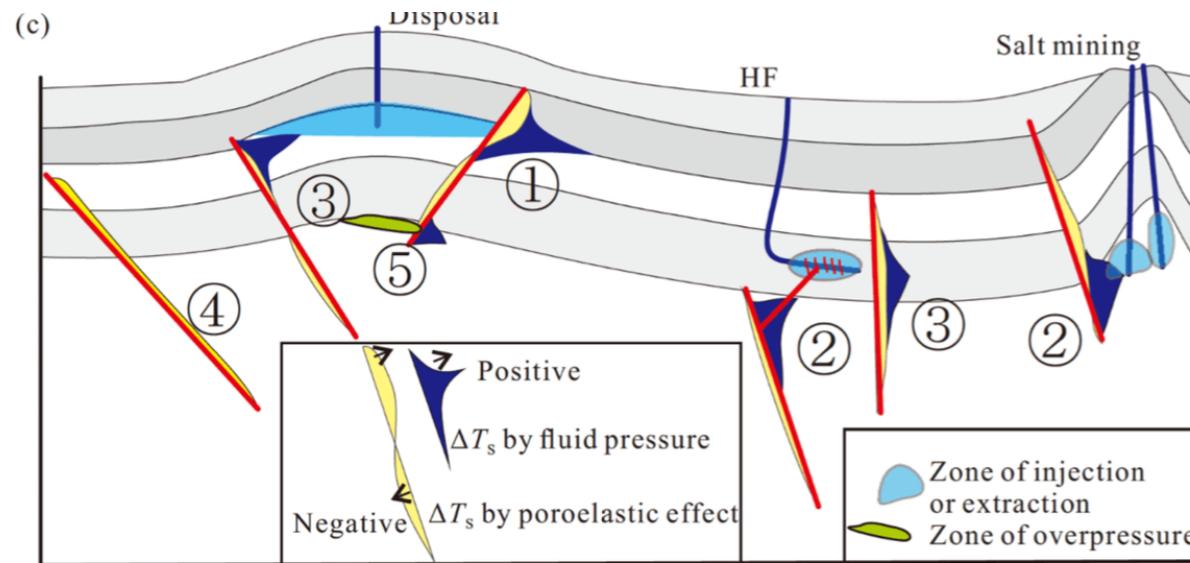
Xinglin Lei; Zhiwei Wang; Jinrong Su

Seismological Research Letters (2019) 90 (3): 1099–1110.

<https://doi.org/10.1785/0220190029> **Article history** 

A convening chain of evidence, including spatiotemporal correlation between earthquakes and HF zones, statistic parameters of seismicity, and estimated overpressure required to activate the unfavorably oriented source faults of the largest events, suggests that a series of earthquakes were induced by HF at a depth of            $\sim 2.5\text{--}3$  km.

## Sismicidad inducida/desencadenada por fracking



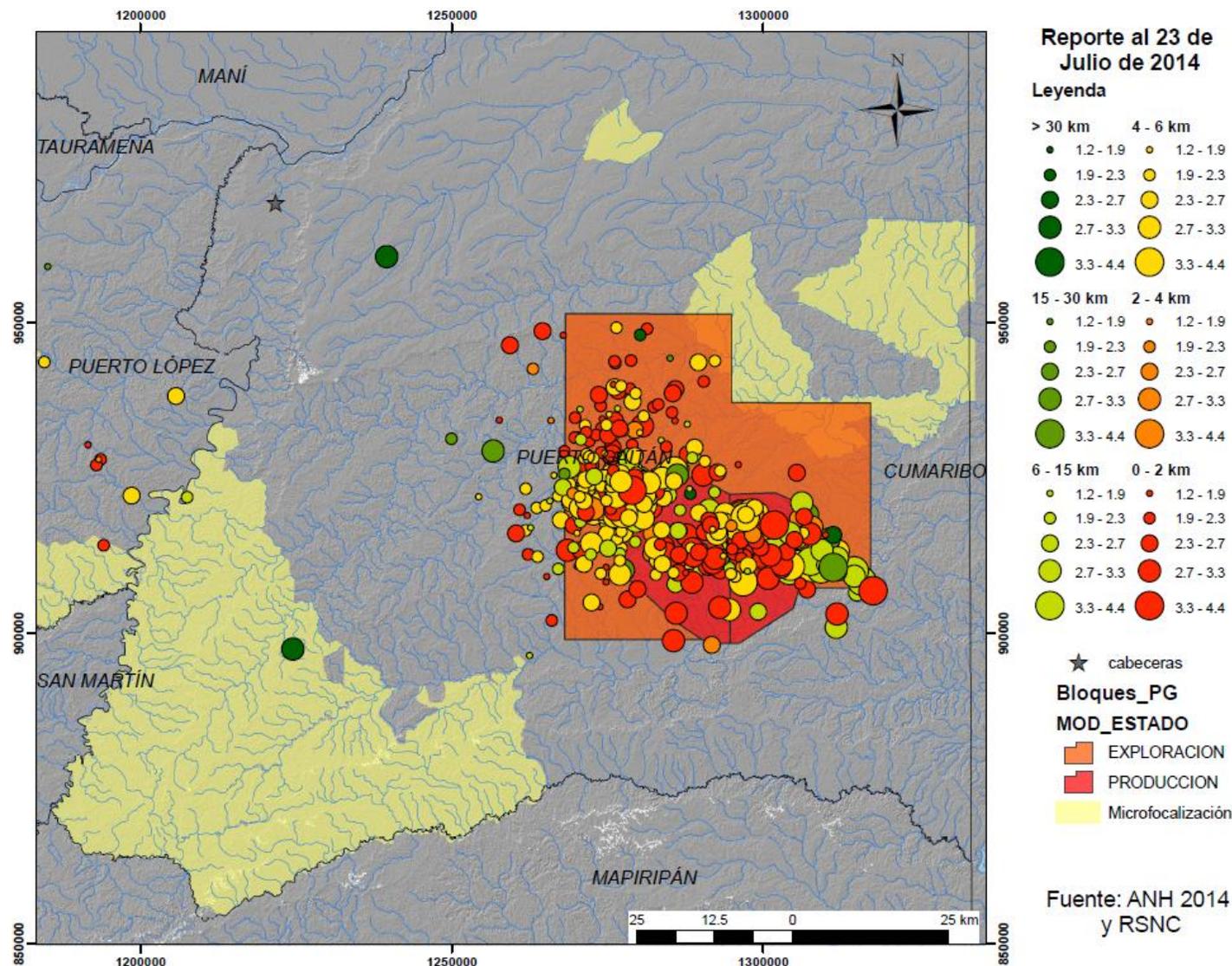
**Figure 3** (a) Normalized slip tendency as a function of fault strike and dip for Luochang-Jianwu syncline, Changning anticline, and Weiyuan-Rongxian shale gas site. Faults with strike and dip falling into the red region have higher slip tendency under the estimated stress field. (b) Sketch plot showing the Coulomb failure criteria and the clock advance of earthquakes by external loading. The  $t_f$  is unperturbed time to failure,  $t_p$  is time to failure when external loading is considered,  $t_s$  is time of application of the external loading,  $dT=t_f-t_p$  is the clock advance, and  $t_0$  is an arbitrary starting point. (c) Schematic diagram of external loading (in the form of fault slip tendency) acting on pre-existing faults from different types of fluid injection and/or extraction. Earthquakes may be induced by increasing the slip tendency, which is related to the stress pattern, fault position and orientation, and injection/extraction factors. ①, the fault passes through the reservoir zone, and fluid pressure plays a dominant role; ②, the fault connects with a zone with permeable channels; ③, the fault is close to the permeable zone, ④, the fault is far from the zone, and the poroelastic effect is dominant; ⑤, the fault connects overpressured reservoir or fluid pockets. Note that the external loading is inhomogeneous along the fault, and the poroelastic effect can lead to a higher or lower slip tendency.

**Growing seismicity in the Sichuan Basin and its association with industrial activities (Lei, Su & Wang (2020))**

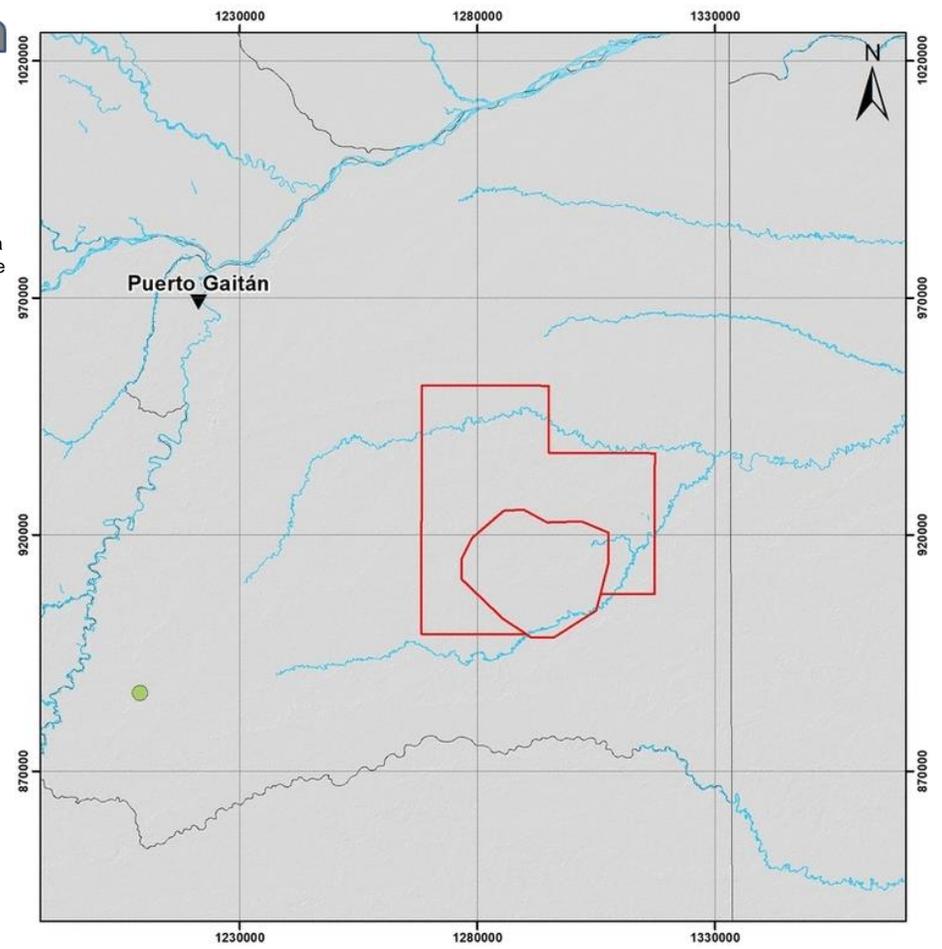
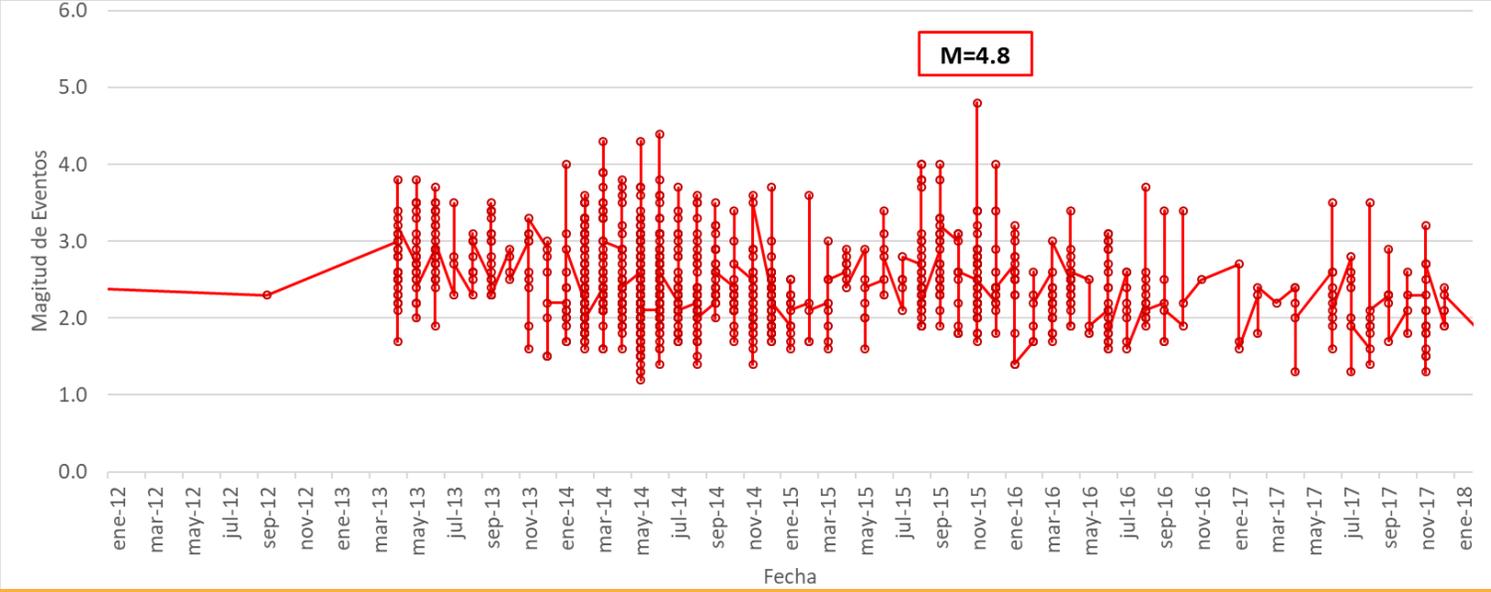
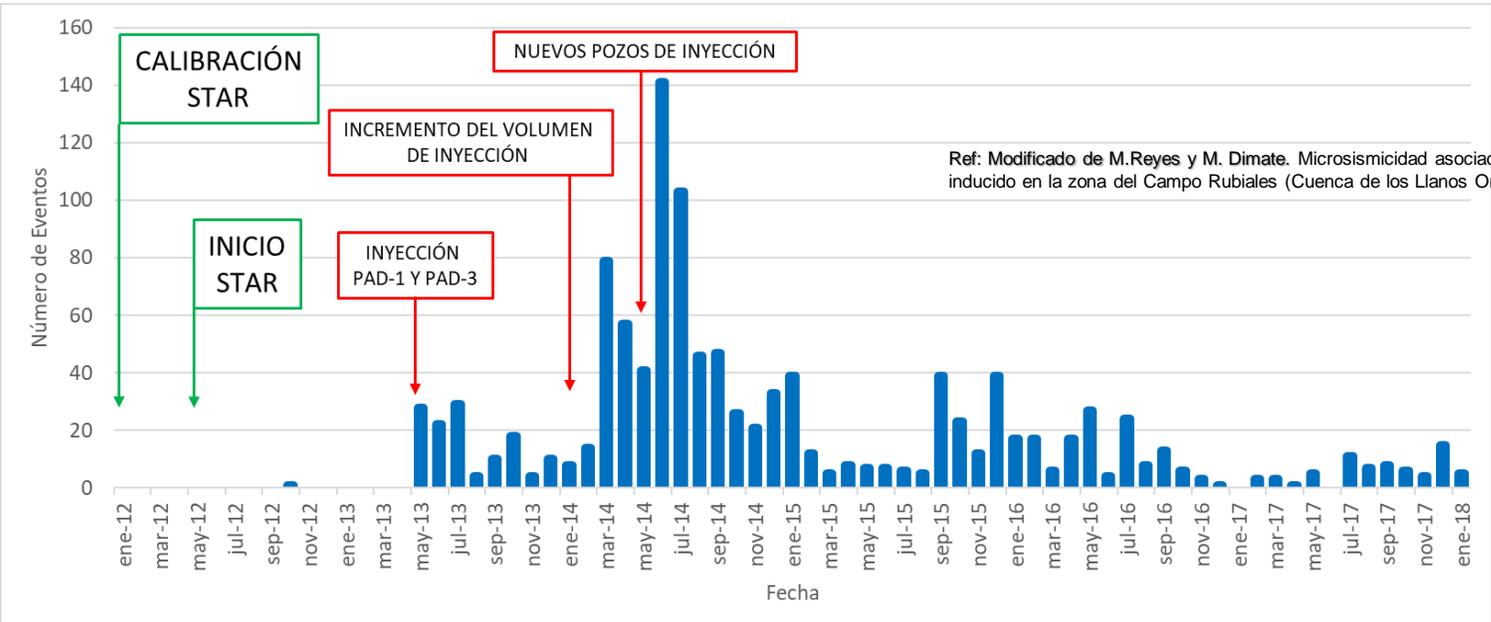
## Sismicidad inducida relacionada con petróleo en Colombia

Nuevo “nido sísmico” en Puerto Gaitán: coincidencia espacial con los bloques petroleros de Quifa, Pirirí y Rubiales

Sismicidad evaluada entre 1993 y julio de 2014. Los polígonos anaranjados corresponden a los bloques petroleros de exploración (Quifa) y los rojos a los bloques petroleros de explotación (Rubiales y Pirirí). Nótese la correspondencia espacial entre los bloques petroleros mencionados y el “nido sísmico”. Los polígonos en amarillo corresponden a áreas para restitución de tierras microfocalizadas (Gráfica generada por Terrae, 2014).



# Sismicidad inducida relacionada con petróleo en Colombia



- Bloque petrolero
  - Ríos
  - Límite municipal
- Sismos 1996**
- Magnitud < 4
  - Magnitud >= 4
  - ★ Evento de mayor magnitud

Tomado de presentación Ingeniero David Aponte (TerraE)

**PANEL SOMBRA EL FRACKING EN COLOMBIA: UN DEBATE NECESARIO CON Y DESDE LA SOCIEDAD**

## Sismicidad inducida relacionada con petróleo en Colombia

Coincidencia entre los epicentros de los sismos y la localización de pozos de inyección.

“Justamente en este periodo se desarrolló en el campo Quifa el proyecto STAR de recobro secundario a partir de combustión in-situ, los pozos de inyección para disposición de aguas residuales y se aumentaron los volúmenes de inyección”

**Inducción de sismos por actividades petroleras en el campo Quifa, Puerto Gaitán, Meta (Reyes, 2015).**

### Discusión.

La coincidencia espacial entre los epicentros de los sismos y la localización de los pozos de inyección, especialmente en el cluster C1, el drástico cambio en la tasa de sismicidad a partir de abril de 2013 y la corroboración de las inusualmente altas magnitudes (7 sismos con  $m_b \geq 4$ ) no tienen precedentes para una región en medio del continente donde no se habían cartografiado fallas activas y sugieren una relación entre la sismicidad y procesos recientes, diferentes de los que tradicionalmente se habían desarrollado en estos campos petrolíferos por más de 30 años.

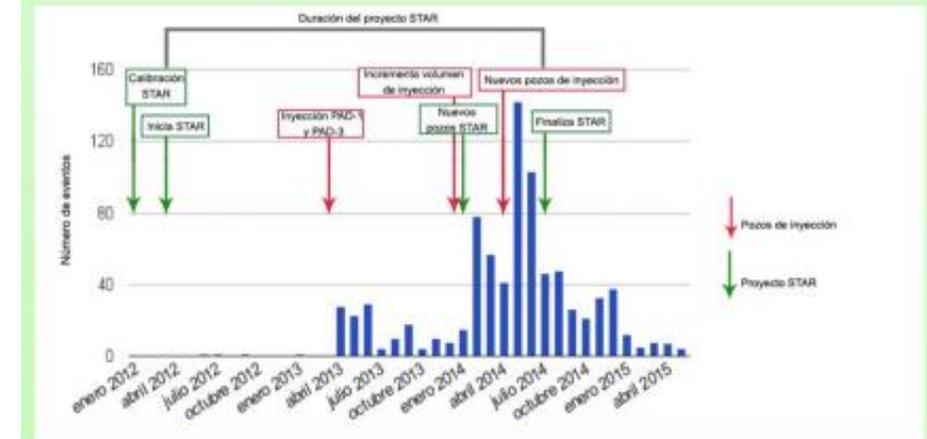


Figura 5. Distribución temporal de los sismos registrados por la Red Sismológica Nacional junto con los hitos en la explotación petrolera en el Campo Quifa.

Justamente en este periodo se desarrolló en el campo Quifa el proyecto STAR de recobro secundario a partir de combustión in-situ, los pozos de inyección para disposición de aguas residuales y se aumentaron los volúmenes de inyección (ANLA, 2014). En la Figura 5 se evidencia la relación entre el inicio de la actividad sísmica y el inicio de la inyección en los pozos PAD-1 y PAD-3, de una parte, y la relación entre los incrementos drásticos en el número de sismos y el incremento de los volúmenes de inyección.

Tiene sentido, entonces, la hipótesis de que la actividad inusual registrada alrededor de los campos Rubiales, Quifa y Pirirí, desde abril de 2013 hasta la fecha de este estudio corresponde a un fenómeno de sismicidad inducida, relacionado con la disposición de aguas residuales producto de las actividades de explotación petrolera.

## Tasas de declinación de la explotación por fracking

Las tasas de declinación en la extracción de hidrocarburos por esta técnica muestra que en pocos meses los pozos pueden llegar a no ser productivos, particularmente en entornos de precios bajos.

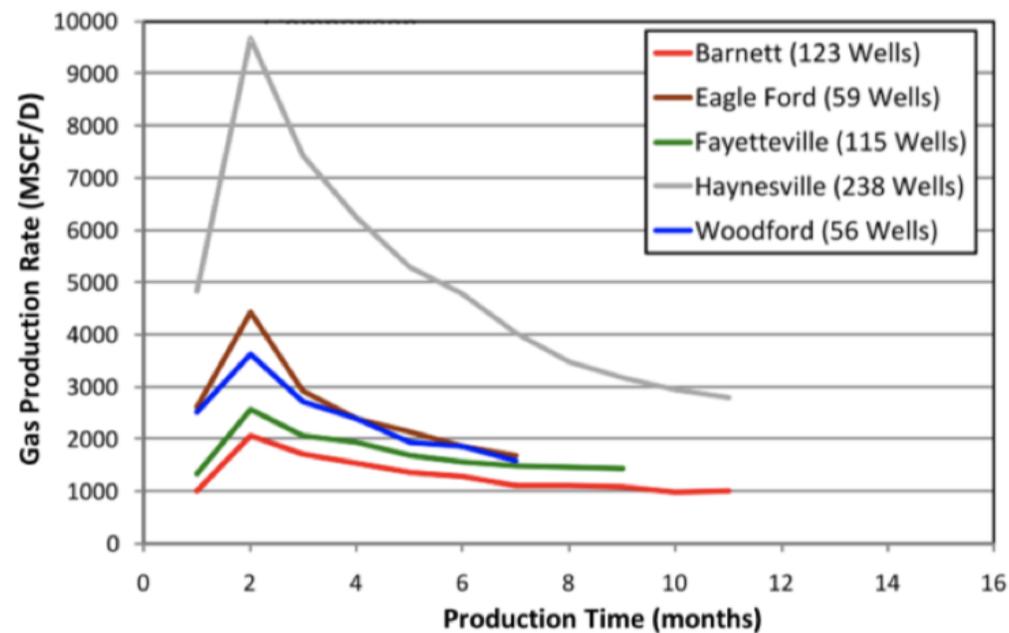


Fig. 1 Gas production rate in different shale gas basins (Modified from Baihly et al. 2010)



## Exploration and Development Strategies for Sub-Andean Tight Rock Reservoirs of the Siluro-Devonian, Chaco Plain, Bolivia

Chris Cornelius

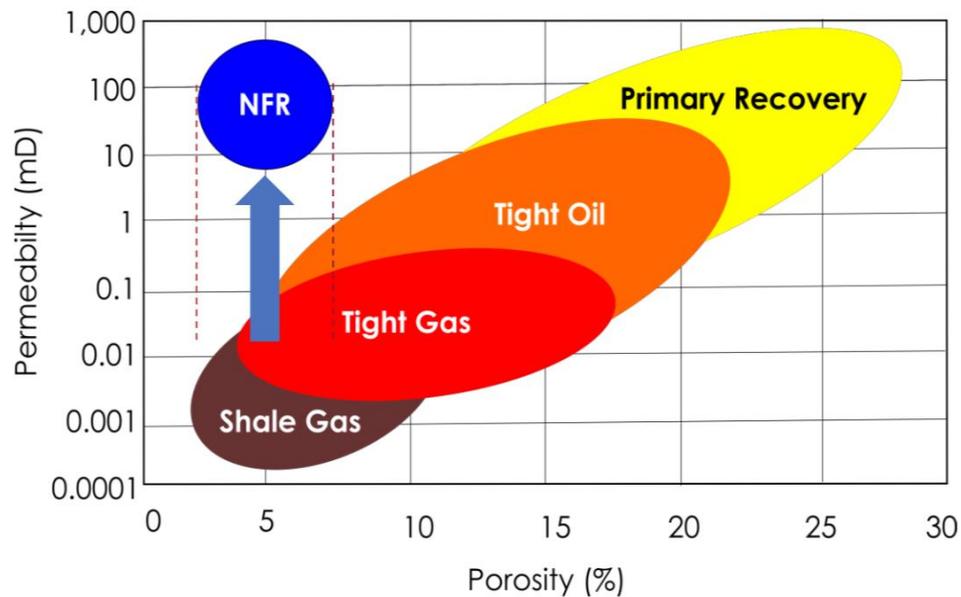
## Outline

---

- **Tight Rock Reservoirs**
- **Chaco Plain – The Exploration Concept**
- **Chaco Tight Gas Petroleum System and Resource Distribution**
- **Analogues**
  - Depositional – Cotton Valley / Bossier / Haynesville
  - Scale – Montney / Duvernay, Canada
  - Development – High Plains DJ Basin
- **The hard work has been done !**
- **Well Economics – 50/50 (The Paradigm Shift)**
- **How many wells needed to double current Bolivian reserves and maintain production?**
- **The Opportunity**

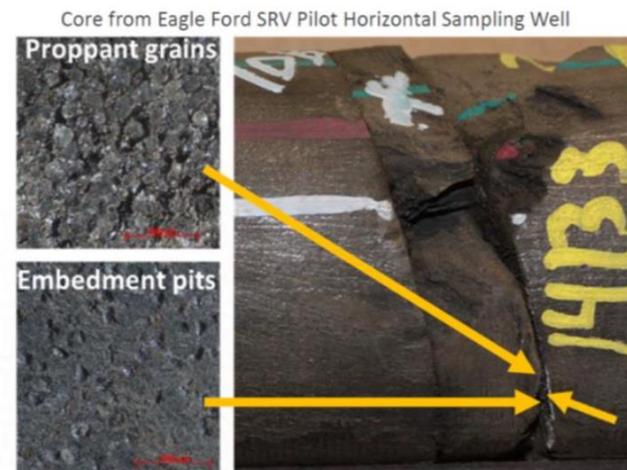
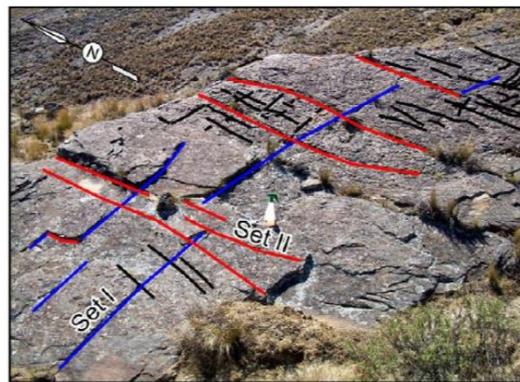
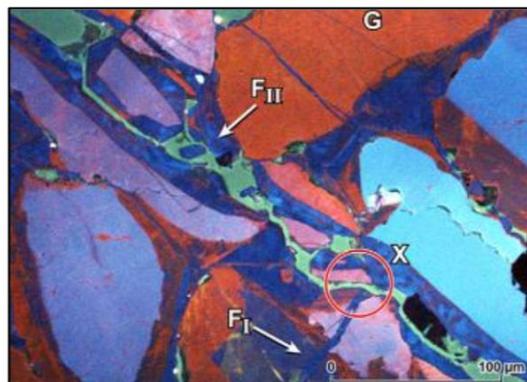
**DISCLAIMER:** Today there is abundant publicly available information on low permeability tight rock reservoirs with many world class geoscientists and engineers working daily in the space. This short presentation taken from personal and public data sets will likely do many of them an injustice, for which I apologize in advance. All public data used in this ppt is referenced at the end of this presentation.

## Tight Rock Reservoirs

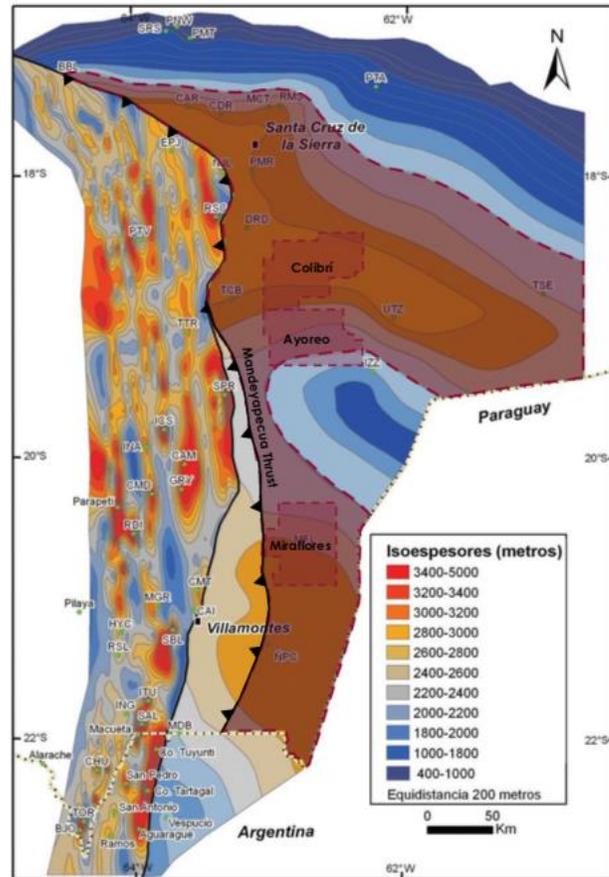


- Prolific fields in the Sub-Andean zone (e.g. Margarita, 13 TCF) produce from naturally fractured Devonian sandstones
- Most “conventional” reservoirs in Bolivia have inherently low matrix poro-perm “Tight Rock” characteristics (they are just naturally fractured - NFR)
- Prolific production rates in the Bolivian thrust belt reflect extensive extensional and “self-propping” discrete fracture networks associated with regional tectonism
- Thick and brittle Devonian sandstones in anticlinal hinges and flower structures, when coupled with conjugate high deliverability fractures, results in exceptional EURs
- Hydraulic fracturing of Tight Gas Sands is industry’s way of replicating mother nature’s natural fractures. My simple way of thinking: we are changing  $r_w$

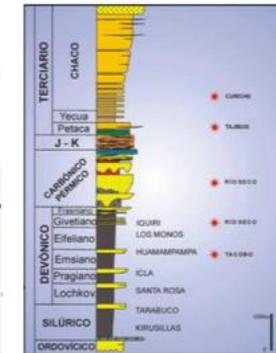
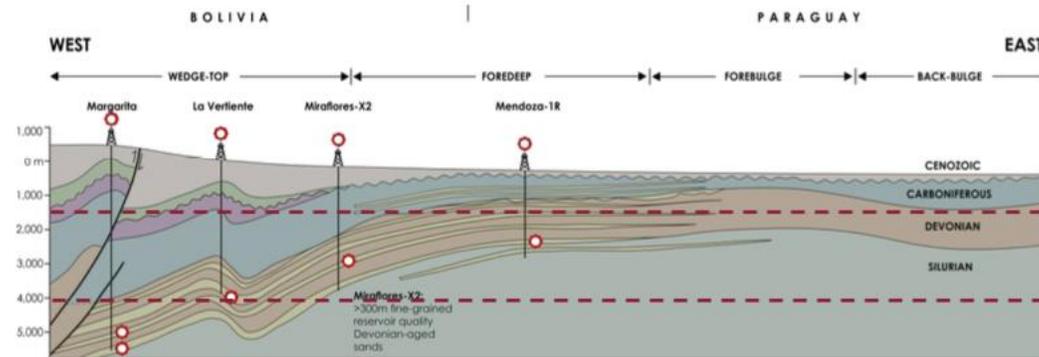
$$p = p_{wf} + \frac{141.2q_o\mu_oB_o}{kh} \ln(r/r_w)$$



## Chaco Tight Gas Petroleum System & Resource Distribution



- There are currently no commercial Siluro-Devonian discoveries in the Chaco foredeep. Low-permeability gas bearing sequences, previously considered non-reservoir will be completed as tight gas reservoirs (proven in Miraflores-X2 and Mendoza-1R)
- The forebulge brings the Silurian and Devonian rocks to depths (1.5-4 km) suitable for HZ drilling and multiple fracture completions
- Stacked laterally continuous sandstones cover 1,000s of sq kms
- Regional continuity and thickness of the Siluro-Devonian over 20,000,000 acres suggests a very large OGIP
- Using conservative back of the envelope calculations the OGIP in the Devonian alone is estimated at >850 TCF
- Underlying Silurian section likely contains an additional >300m of tight reservoir pay



Schematic cross section through Chaco Foreland Basin

CANCAMBRIA

## Sismicidad inducida/desencadenada. Reglamentación en Colombia.

### RESOLUCIÓN 9 0341 de 2014 del Minminas

**Artículo 15. Requerimientos para pozos inyectoros de fluido de retorno y agua de producción.** Los pozos inyectoros de fluido de retorno y agua de producción deberán cumplir:

1. Requerimientos de información geológica:

(...)

iii) Fallas geológicas identificables a cualquier profundidad que se encuentren dentro de un volumen de un cilindro imaginario en el cual:

a) La altura del cilindro corresponde a tres (3) veces la profundidad final del pozo inyector.

b) El radio del pozo corresponde a tres (3) veces la profundidad del pozo, proyectado hacia superficie en torno al pozo de inyección.

iv) Cualquier evidencia histórica de sismicidad dentro de **dieciséis (16) km del pozo de inyección propuesto.**

Se van a tener estudios de fallas geológicas generalmente a menos de 20 km del pozo, lo cual puede ser insuficiente.

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

REPÚBLICA DE COLOMBIA



MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
RESOLUCIÓN NÚMERO 18 0742 DE  
( 16 MAY 2012 )

Por la cual se establecen los procedimientos para la exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales

**Yacimiento Convencional:** Formación rocosa donde ocurren acumulaciones de hidrocarburos en trampas estratigráficas y/o estructurales. Se caracteriza por un sistema natural de presión único, de manera que la producción de hidrocarburos de una parte del yacimiento afecta la presión de reservorio en toda su extensión. Está limitado por barreras geológicas, tales como estratos impermeables, condiciones estructurales y agua en las formaciones, y se encuentra efectivamente aislado de cualquier yacimiento que pueda estar presente en la misma área o estructura geológica.

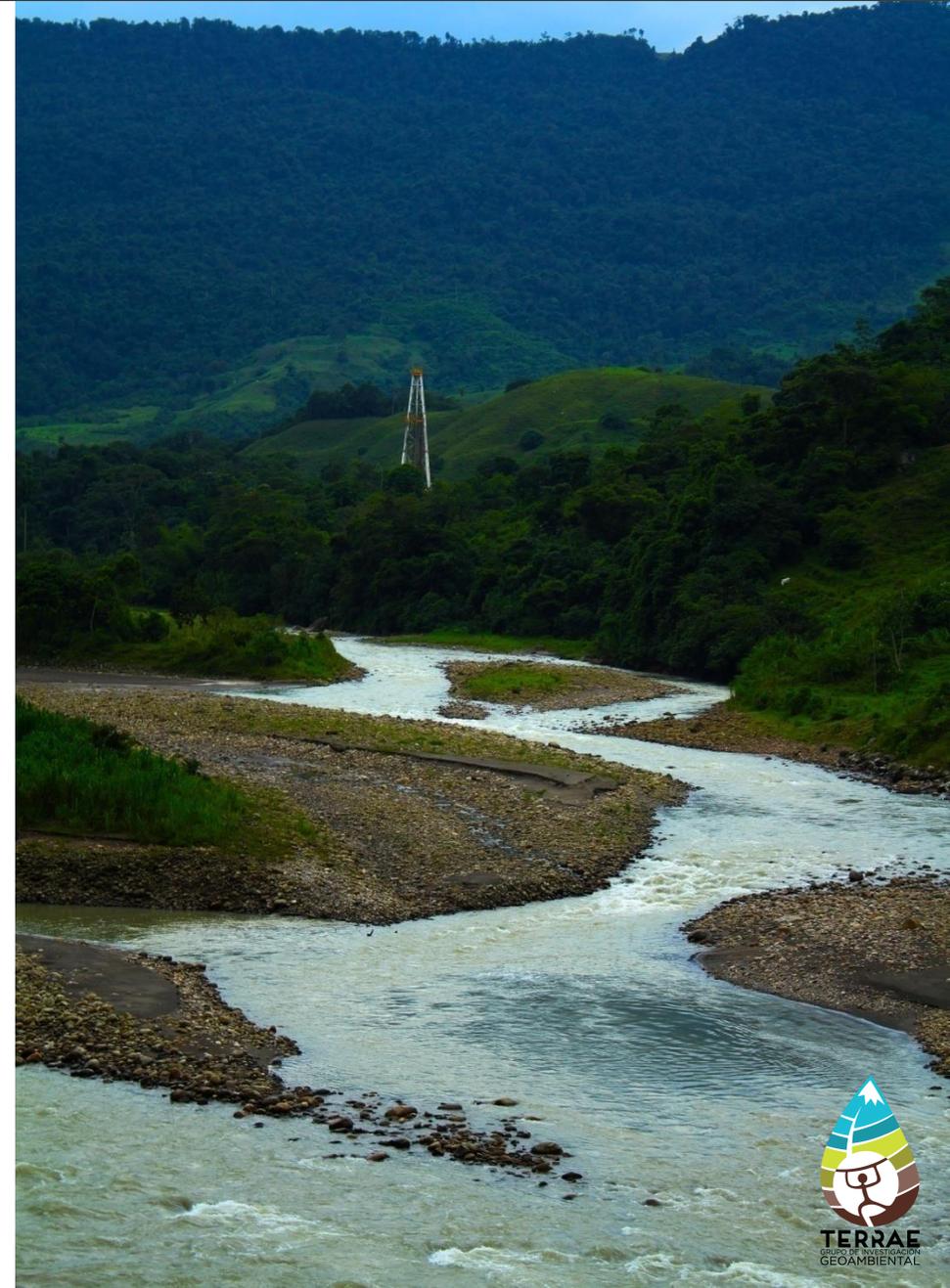
**Yacimiento No Convencional:** Formación rocosa con baja permeabilidad primaria a la que se le debe realizar estimulación para mejorar las condiciones de movilidad y recobro de hidrocarburos. Los yacimientos no convencionales típicos incluyen, entre otros, las arenas y carbonatos apretados, gas metano asociado a mantos de carbón, gas y petróleo de lutitas y arenas bituminosas.

## Reglamentación ambiental



Neslin, D. (2012) Sustainable Development: Producing Energy While Protecting the Environment

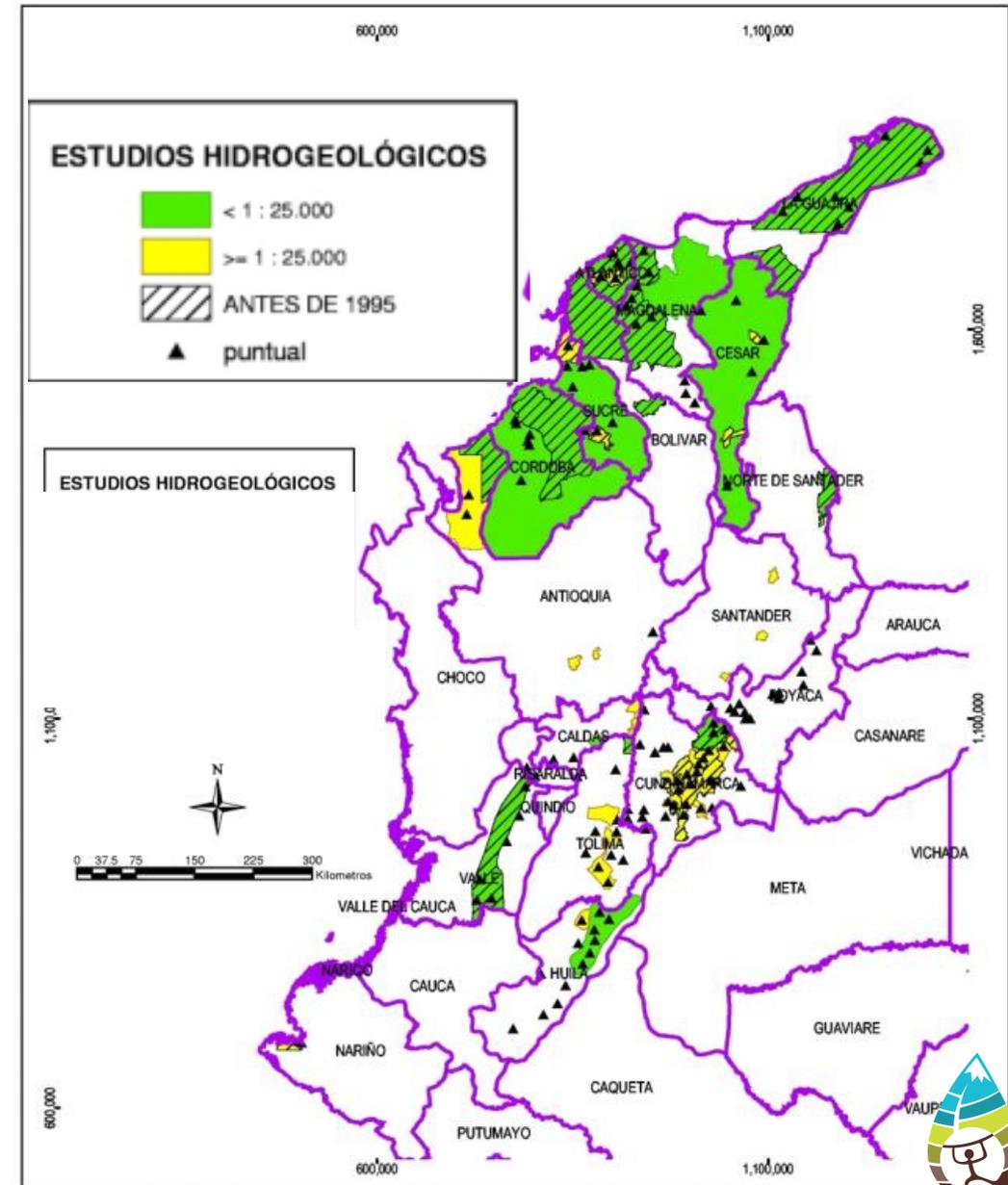
## Environmental Standards



## Colombia: línea base geoambiental muy incompleta

*En 1977, Ingeominas publicó el primer Mapa hidrogeológico a nivel nacional a escala 1:3.000.000 (...)*  
*En 1989, Ingeominas elaboró el Mapa Hidrogeológico de Colombia a escala 1: 2.500.000, y siete años después inicio la elaboración del Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia (escala 1:500.000), el cual tiene un cubrimiento aproximado del 30 % del territorio nacional.*  
*SGC (2013)*

¿Existen estudios hidrogeológicos en las zonas prospectivas para fracturamiento hidráulico de no convencionales?



## Colombia: línea base geoambiental muy incompleta

*Desde su fundación, el SGC ha levantado la cartografía geológica a diversas escalas, con un cubrimiento actual del 52 % del país, aproximadamente. Sin embargo, no toda esa área cumple con los estándares de esta escala de trabajo (esc. 1:100.000) y tiene vacíos de información geológica que obligan a hacer planes de revisión y complementación; también se requiere mejorar la información de las áreas estratégicas del Estado.*

*...Sin embargo, la cartografía geológica básica no ha contado en las últimas dos décadas con grupos de apoyo bien establecidos en geología estructural, estratigrafía, paleontología y petrografía de rocas ígneas y metamórficas.*

*...La tectónica, la neotectónica y la tectónica activa han sido tradicionalmente disciplinas poco cultivadas en el país. La cartografía se ha limitado a definir planos de ruptura y límites de unidades pero en la gran mayoría de los casos se desconoce la evolución de las fallas con todas las implicaciones que el tema trae.*

## Bolivia: línea base geoambiental muy incompleta en aguas subterráneas

Al igual que en la mayor parte de Latinoamérica, la información sobre aguas subterráneas, sus zonas de recarga y descarga, los usuarios que hacen uso de ellas es muy precaria. Este desconocimiento lleva a que se arriesgue un valor natural que es vital para la supervivencia de las comunidades chaqueñas.

Tampoco existen estudios detallados sobre los esfuerzos tectónicos y los modos de fracturamiento de las rocas. Este insumo es fundamental para las decisiones sobre fracking.

IV Congreso Argentino de Hidrogeología, Río Cuarto, Córdoba, Argentina,  
25 al 28 de Octubre de 2005, pag. 125-134, TOMO II

### CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA DEL SISTEMA ACUÍFERO YRENDA (SAY) EN PARAGUAY: RECURSO COMPARTIDO CON ARGENTINA Y BOLIVIA.

Fernando Larroza & Sandra Fariña L.

**Resumen:** El Sistema Acuífero Yrenda (SAY) es un sistema hidrogeológico regional que abarca cerca de la 2/3 de la Región Occidental del Paraguay y parte del chaco Argentino y Boliviano. Es un acuífero semi confinado y confinado, formado por sedimentos cuaternarios y terciarios no consolidados de la Formación Chaco. La salinidad del agua subterránea aumenta a lo largo de la dirección de flujo que es de oeste a este; la velocidad se estima en el rango de 20 a 46 m/año. La recarga tiene lugar en la región boliviana a través de la infiltración directa de precipitación y agua del río, en las colinas sub-andinas (serranía Aguaragüe). La descarga ocurre de dos formas. A) En la región central-oriental, la descarga da lugar a los humedales de aguas salobre-saladas, debido a la presencia de una barrera impermeable al este que en parte evita el flujo al Río Paraguay. La barrera causa un aumento del nivel de agua en la parte oriental del Chaco Central. Esta situación no se revierte por la extracción del agua subterránea para el suministro doméstico en áreas urbanas, ya que debido a la salinidad el uso es limitado. B) La sobre explotación de los acuíferos del este de la región oriental, permite la intrusión salina del agua subterránea del Sistema Acuífero Yrenda hacia la Región Este del Paraguay. El acuífero en la frontera a Bolivia se caracteriza por una permeabilidad que varía entre 6-8 m/d y un transmisibilidad en el rango de 400-200 m<sup>2</sup>/d. En el Chaco Central, la permeabilidad queda entre 0.3 y 12 m/d y la transmisibilidad entre 80 y 120 m<sup>2</sup>/d, mientras la capacidad específica varía en el rango de 1.1 a 3.7 m<sup>3</sup>/h/m. Estas variaciones se relacionan a la distribución de los sedimentos permeables, como la disminución de tamaños de grano del oeste produciéndose la inversión de salinidad.

**Palabras claves:** Sistema Acuífero Yrenda, Chaco, Paraguay, Acuífero transfronterizo.

# Qué es el fracking: bases técnicas para entender riesgos y contaminación

## Bolivia: línea base geoambiental muy incompleta en aguas subterráneas



PROYECTO:  
"PROGRAMA MARCO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE  
DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA  
EN RELACIÓN CON LOS EFECTOS HIDROGEOLÓGICOS  
DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO"

COMPONENTE: "AGUAS SUBTERRÁNEAS"

CASO DE ESTUDIO  
UNESCO/OEA ISARM Américas  
SISTEMA ACUÍFERO YRENDA-TOBA-TARIJEÑO  
PARAGUAY-ARGENTINA-BOLIVIA

INFORME DE SÍNTESIS

Ronald C. Pasig

Información recopilada y preparada por:

Alfredo Fuertes (Argentina)  
Hernán Villena (Bolivia)  
Juan Ríos (Paraguay)

Enero 2005

Evaluar la vulnerabilidad y el riesgo a la contaminación de los acuíferos, especialmente en los sectores de recarga y de intensa actividad antrópica.

En los centros poblados (como es el caso de Yacuiba, Villamontes y Mariscal Estigarriba entre otros) y en donde la red de alcantarillado sanitario es ineficiente y en muchos casos inexistente, los desechos humanos, industriales y de otra naturaleza son evacuados directamente a los lechos de las quebradas y/o infiltrados al subsuelo, con lo que se produce una contaminación areal continua y muy significativa en los acuíferos. Igualmente se genera una contaminación puntual en aquellos sectores donde los pozos de extracción de agua profunda no están adecuadamente sellados para evitar la infiltración hacia las capas acuíferas más profundas. En el sector de la Serranía del Aguaragüe sobre el sector Boliviano y Argentino, la exploración y explotación de hidrocarburos es muy significativa, provocando en numerosas oportunidades el derrame de hidrocarburos a los grandes ríos (Pilcomayo) y/o a la llanura Chaqueña directamente. También hay que destacar la cantidad de pasivos ambientales dejados por la empresa nacional de hidrocarburos de Bolivia (YPFB) y que se encuentran distribuidos a lo largo de la llanura Chaqueña. Este tipo de contaminación es mayormente puntual y puede afectar significativamente a los acuíferos freáticos.

Las áreas de recarga del SAYTT en la parte Boliviana y Argentina están sufriendo actualmente un considerable aumento en la ocupación del territorio. Esto está provocando un aumento de los riesgos de contaminación a los acuíferos, sin que exista hasta el momento ningún instrumento legal de protección de las áreas afectadas.

El SAYTT representa para el área del Chaco un enorme reservorio de agua dulce y cuyo recurso puede y debería ser aprovechado para el desarrollo de esta región. La falta de agua potable en algunas localidades del Chaco Paraguayo (como por ejemplo Filadelfia, Neuland, Loma Plata) y Argentino podría solucionarse con la provisión de agua subterránea del SAYTT. Sin embargo, para poder saber cuanto y en que forma se puede aprovechar el agua subterránea, es necesario conocer en profundidad las condiciones hidrogeológicas del SAYTT.

El manejo integral de los recursos hídricos del SAYTT debe ser aprovechado bajo un concepto de sustentabilidad del recurso y en forma coordinada entre los tres países dueños del recurso. La ejecución de este proyecto puede brindar una excelente oportunidad para lograr el consenso entre los tres países en vista de un manejo integrado del sistema.

# La problemática más allá del fracking

## - Incertidumbres y riesgos



## ESTUDIOS DE CASO DE CONTAMINACIÓN POR PETRÓLEO EN COLOMBIA

Si la explotación de yacimientos convencionales es menos riesgosa pero pasan estas cosas, ¿Qué esperamos del fracking?



# La problemática más allá del fracking

## - El licenciamiento ambiental: Caso La Macarena (Hupecol)

	k (µs/cm)	Sólidos Disueltos (mg/L)	Cloruros (mg Cl/L)	Sulfatos (mg SO4/L)	pH	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Fenoles Totales (mg/L)	Bario (mg Ba/L)
Valores de referencia EIA Macarena	1380	(500 - 2000)	166	< 4	6,37	525	0,088	(1 - 3)

Composición teórica de las aguas residuales industriales (Valores tomados de la Tabla 4-53 del EIA del Bloque Serranía de HUPECOL, en el cual se tiene como referencia Metcalf & Eddy, Inc. Ingeniería sanitaria, 1985)

**Los estudios ambientales: omisivos y deficientes.**

### Reportes de ARI del proyecto "Producción y Explotación de hidrocarburos en las Áreas de Interés Quinde, Cohembí y Quillacinga" (Puerto Asís, Putumayo)

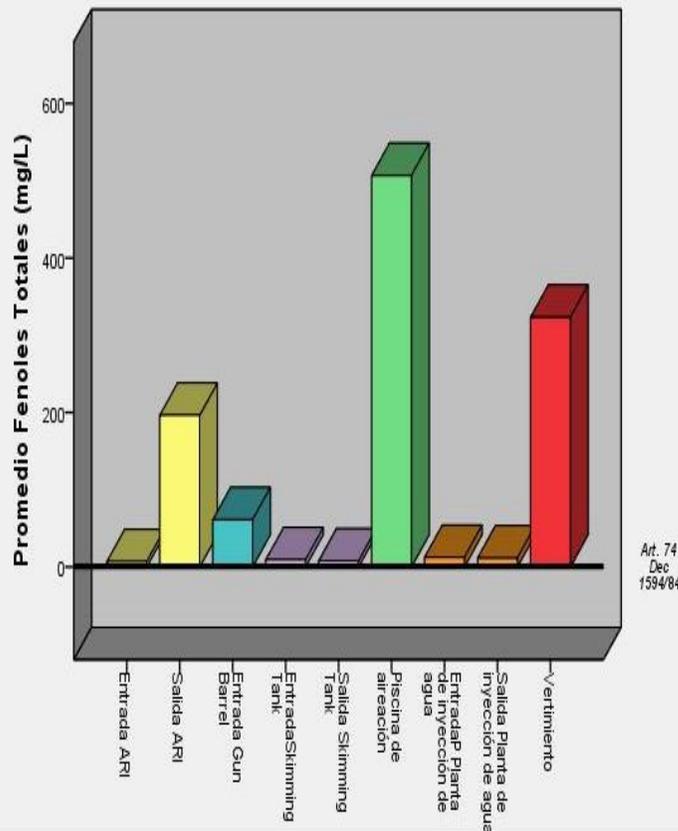
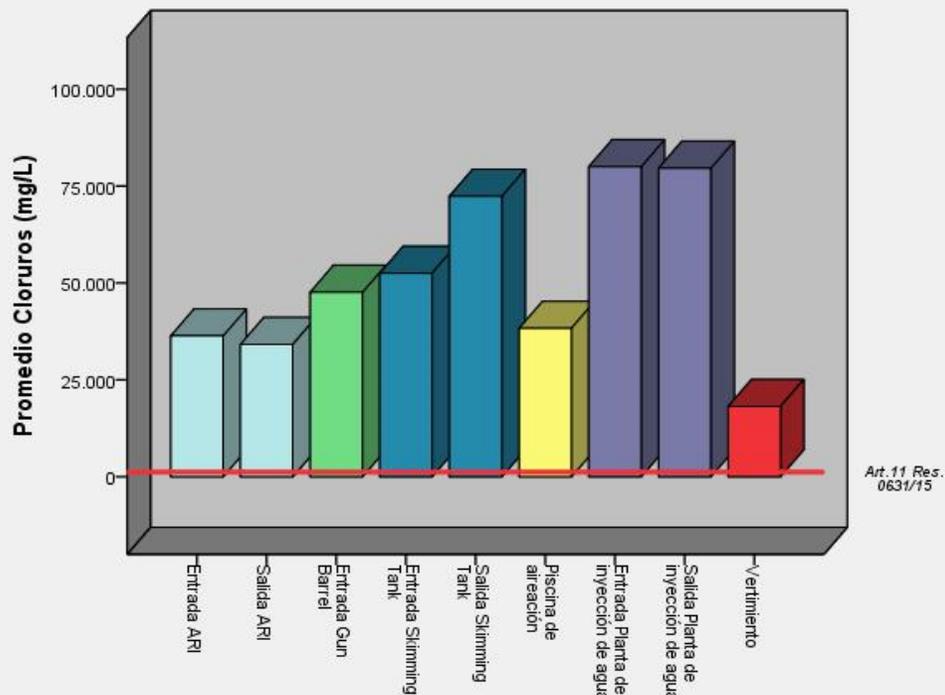
Año	Mes	Estación	k (µs/cm)	Sólidos Disueltos (mg/L)	Cloruros (mgCl/L)	Sulfatos (mg SO4/L)	Ph	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Fenoles Totales (mg Fenol/L)	Bario (mg Ba/L)
2009	Febrero	Quillacinga	12900	-	-	161	7,41	52	<0,008	0,25
2009	Abril	Quillacinga	15200	-	-	208	7,44	106	<0,008	0,43
2009	Junio	Quillacinga	23800	-	-	84,2	7,7	64	2,99	2,47
2010	Agosto	Quillacinga	45700	-	16900	-	7,07	-	5,9	1,53
2010	Noviembre	Quillacinga	45100	-	23000	-	7,63	-	-	2,01
2011	Junio	Quillacinga	71685	28614	39688,12	-	6,81	-	<0,03	4,66
2011	Abril	Quillacinga	58625	23541	19399,37	146,82	7,73	-	<0,03	7,07
2012	Enero	Quillacinga	31	19	7	3,17	6,17	1013	0,05	<0,05
2012	Febrero	Quillacinga	63205	38247	39034	109,89	7,2	210	0,83	5,17
2012	Marzo	Quillacinga	114961	12208	34899,18	157,42	6,84	27	2860	6,79
2013	Enero	Cohembí	130,9	>2000	48306,53	131	6,87	117	15,4	<0,01

ANÁLISIS DEL COMPONENTE GEOAMBIENTAL DEL EIA DEL BLOQUE SERRANÍA DE HUPECOL (2015): LA IGNORANCIA DE LOS PRINCIPIOS DE PRECAUCIÓN Y PREVENCIÓN Y DE LOS PRINCIPIOS AMBIENTALES GENERALES.

LOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD Y CLORUROS DE LAS AGUAS QUE FUERON VERTIDAS AL RÍO SAN MIGUEL (PUTUMAYO) SON MAYORES QUE LAS DEL AGUA DE MAR

# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: Puerto Vega Teteyé (Vetra)



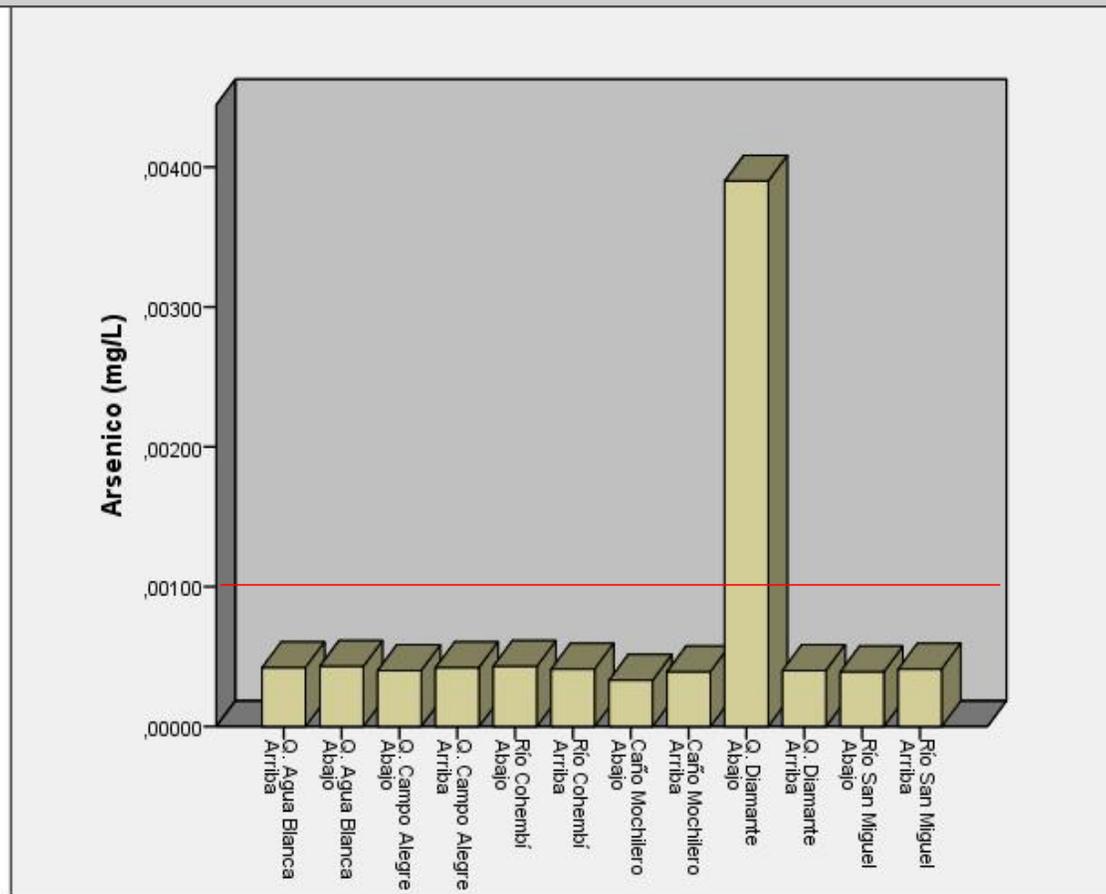
Explotación petrolera:  
Colombia Energy en Puerto  
Vega – Teteyé (Putumayo)

Cloruros y fenoles en  
vertimientos petroleros

Datos tomados de Fierro (2016) para la Comisión Minero-energética y ambiental para el Putumayo con base en los Informes de Cumplimiento Ambiental (2010-2014) presentados por la petrolera Consorcio Colombia Energy

# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: Puerto Vega Teteyé (Vetra)



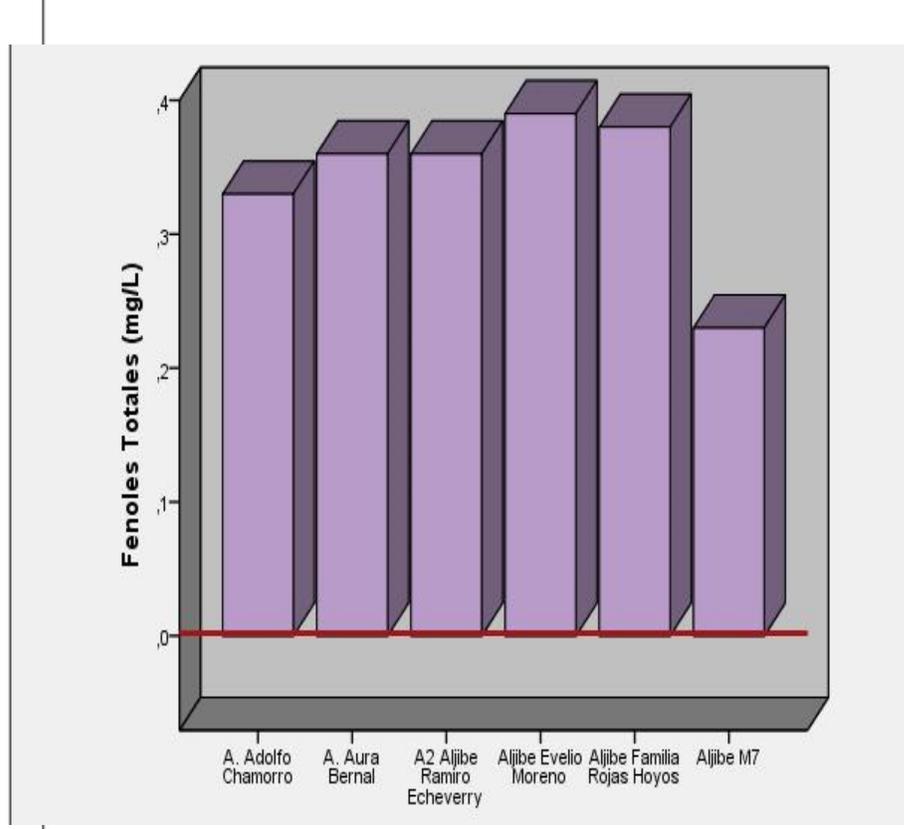
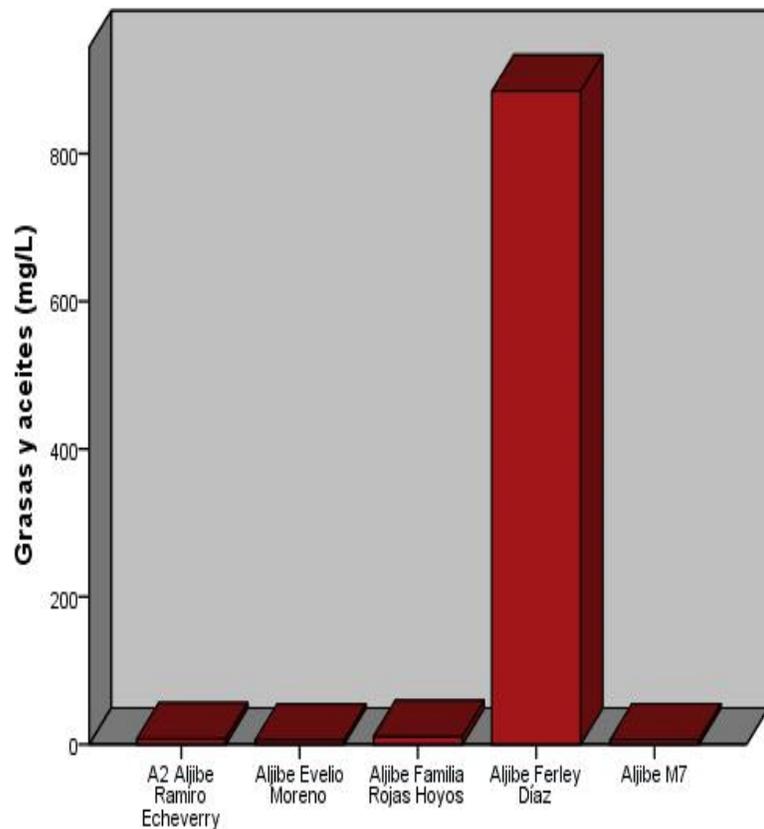
Explotación petrolera:  
Colombia Energy en Puerto  
Vega – Teteyé (Putumayo)

Arsénico en vertimientos  
petroleros

Datos tomados de Fierro (2016) para la Comisión Minero-energética y ambiental para el Putumayo con base en los Informes de Cumplimiento Ambiental (2010-2014) presentados por la petrolera Consorcio Colombia Energy

# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: Puerto Vega Teteyé (Vetra)



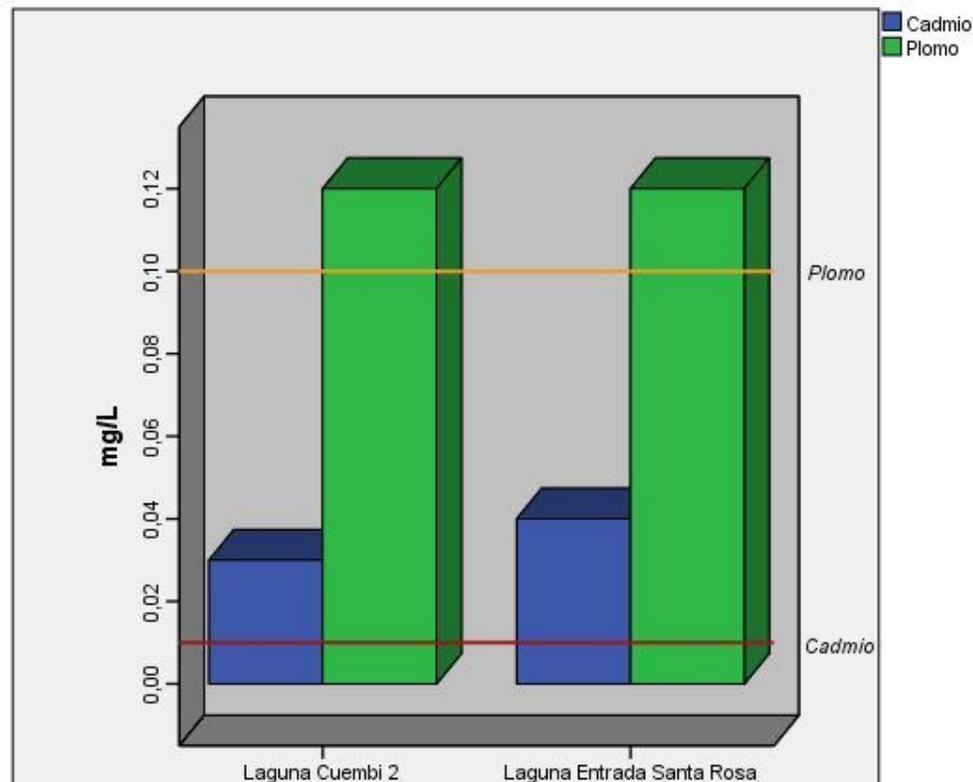
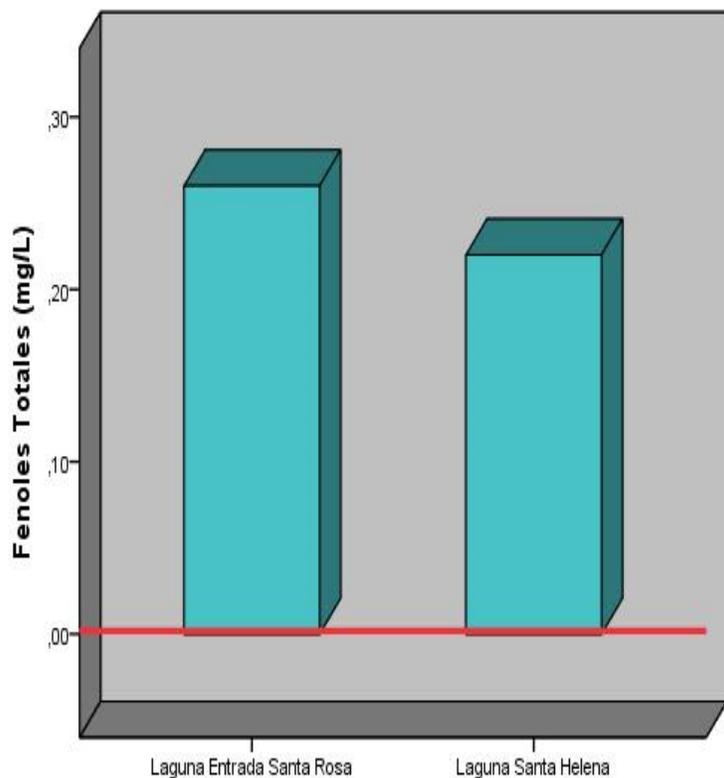
Explotación petrolera:  
Colombia Energy en Puerto  
Vega – Teteyé (Putumayo)

Grasas y aceites y fenoles  
en aljibes usados para  
consumo humano.

Datos tomados de Fierro (2016) para la Comisión Minero-energética y ambiental para el Putumayo con base en los los datos de Laboratorio CIMA (2015), contratado por la ANH.

# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: Puerto Vega Teteyé (Vetra)



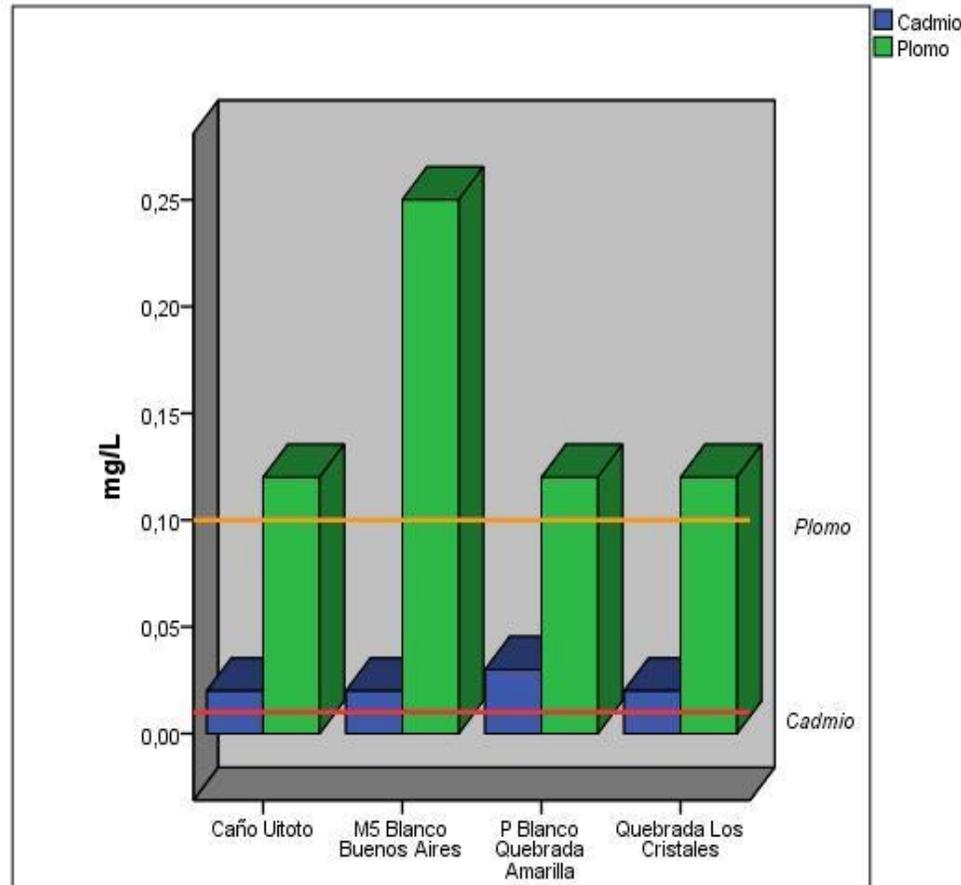
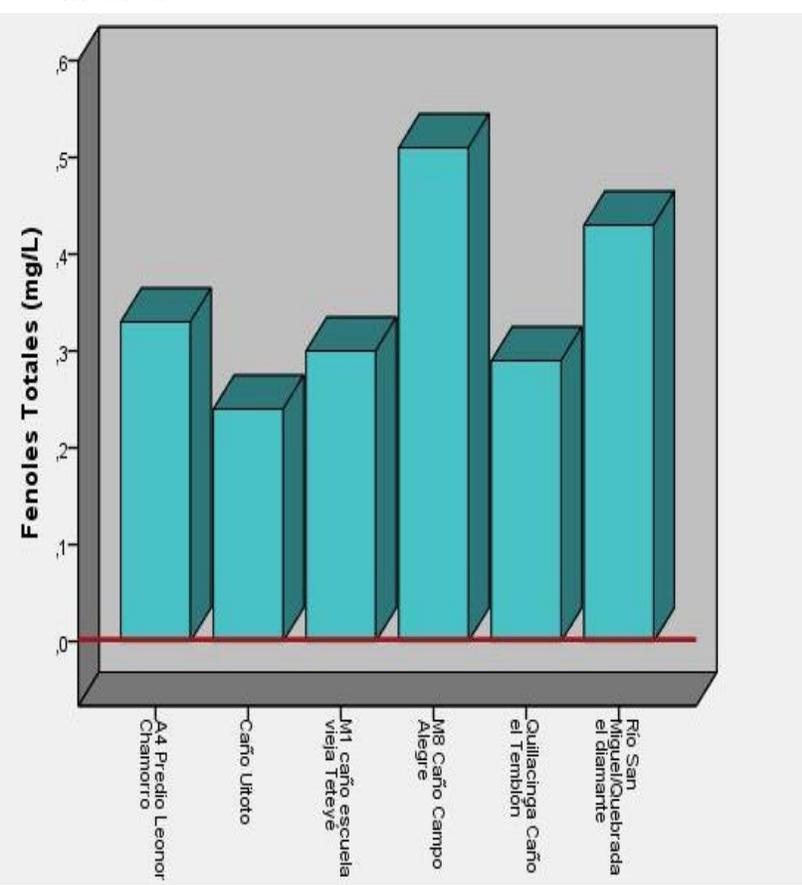
Explotación petrolera:  
Colombia Energy en Puerto  
Vega – Teteyé (Putumayo)

Fenoles, cadmio y plomo  
en lagunas.

Datos tomados de Fierro (2016) para la Comisión Minero-energética y ambiental para el Putumayo con base en los los datos de Laboratorio CIMA (2015), contratado por la ANH.

# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: Puerto Vega Teteyé (Vetra)



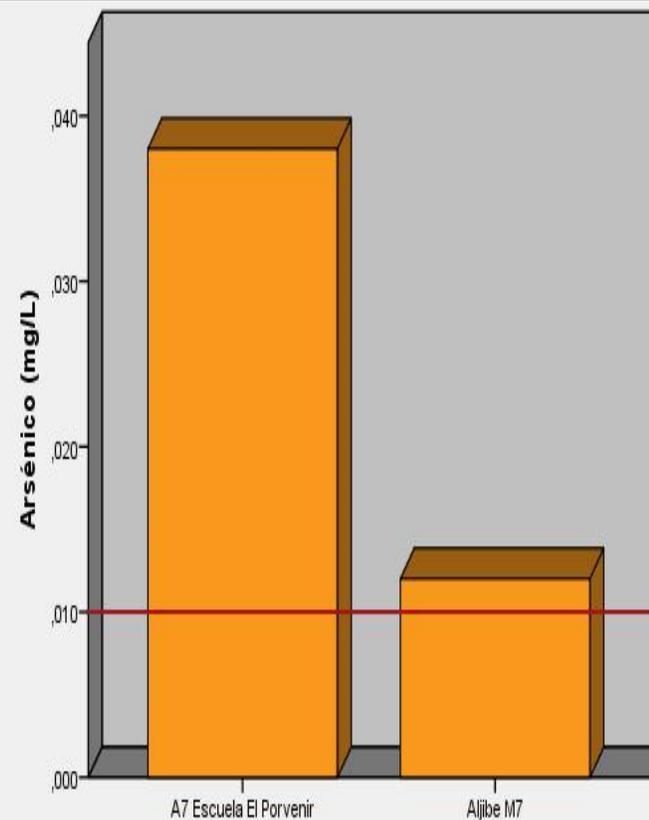
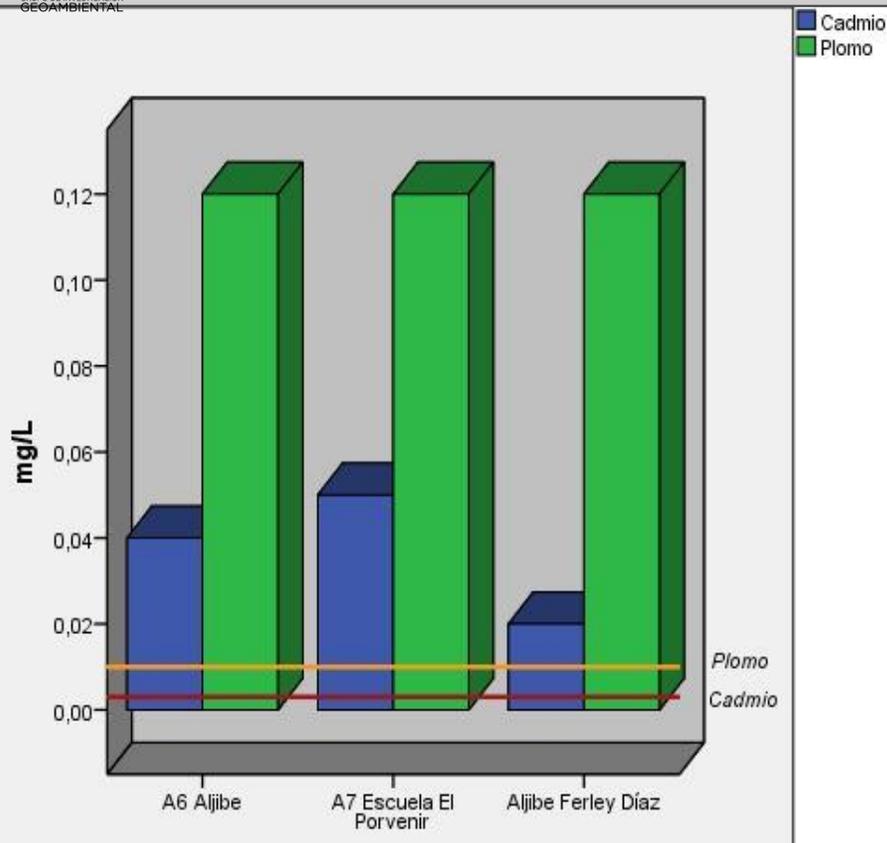
Explotación petrolera:  
Colombia Energy en Puerto  
Vega – Teteyé (Putumayo)

Fenoles, cadmio y plomo  
en caños y quebradas.

Datos tomados de Fierro (2016) para la Comisión Minero-energética y ambiental para el Putumayo con base en los los datos de Laboratorio CIMA (2015), contratado por la ANH.

# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: Puerto Vega Teteyé (Vetra)



Explotación petrolera:  
Colombia Energy en Puerto  
Vega – Teteyé (Putumayo)

Cadmio y plomo y arsénico  
en aljibes para consumo  
humano.

**El agua de la escuela primaria  
de El Porvenir está altamente  
contaminada**

Datos tomados de Fierro (2016) para la Comisión Minero-energética y ambiental para el Putumayo con base en los los datos de Laboratorio CIMA (2015), contratado por la ANH.



# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: Puerto Vega Teteyé (Vetra)

### Petroleras que contaminan y dañan la salud de los pobladores

El caso del bloque de explotación Suroriente localizado en el corredor Puerto Vega – Teteyé presenta incumplimientos a los estándares de **calidad del aire** para partículas finas (PM10). Estos valores **han sobrepasado hasta tres veces las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS)** para periodos de exposición diarios.

Respecto al agua para consumo humano, **los fenoles han sobrepasado la norma entre cien y doscientas veces y el plomo y el cadmio hasta diez veces.** Los ríos y lagunas tampoco escapan de la contaminación ambiental, encontrando concentraciones elevadas con el mismo orden de magnitud de los aljibes tanto para fenoles, cloruros, cadmio, plomo y grasas y aceites.

Explotación petrolera:  
Colombia Energy en Puerto  
Vega – Teteyé (Putumayo)

# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: Barrancabermeja (Ecopetrol)

*Esta investigación evidenció un núcleo problemático, que va desde la **acumulación de Cadmio y Plomo** en suelos aledaños a esta industria (petroquímica), que **bioacumula metales en raíces, tallos y hojas** en estas pasturas de trópico bajo. (...) Se confirmaron las hipótesis sobre una mayor acumulación de estos metales en los suelos más cercanos a los focos de contaminación y sobre la bioacumulan en los tejidos vegetales en un orden creciente en raíces, tallos y hojas. (...)*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**EVALUACIÓN DEL ESTRÉS ABIÓTICO EN *Brachiaria* spp. INDUCIDO POR BIOACUMULACIÓN DE CADMIO Y PLOMO, EN UNA ZONA ALEDAÑA AL CORREDOR PETROLÍFERO DE BARRANCABERMEJA (COLOMBIA)**

**Manuel José Peláez Peláez**



# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: CPO-09 (Ecopetrol)

### Contaminación hídrica Bloque Cubarral

Información disponible del estado de calidad del agua en el Meta, según (Cormacarena, 2014) indica que:

Los ríos Acacías, Ocoa, Guayuriba presentan alteración de la calidad fisicoquímica, principalmente por el contenido de grasas y aceites y la presencia de coliformes.

Reporta 51 derrames de hidrocarburos registrados durante los años 2012 y 2013 afectando la calidad del agua y suelo.

Se estima que en 2012 y 2013 se derramaron 95.537 galones (361.645,76 Litros) de crudo.

# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: CPO-09 (Ecopetrol)

### Contaminación hídrica – Cubarral

La CGR con apoyo de Cormacarena, emiten concepto respecto a la contaminación del río Acacías producto del vertimiento generado desde la estación Chichimene. En el río Acacías se encuentra:

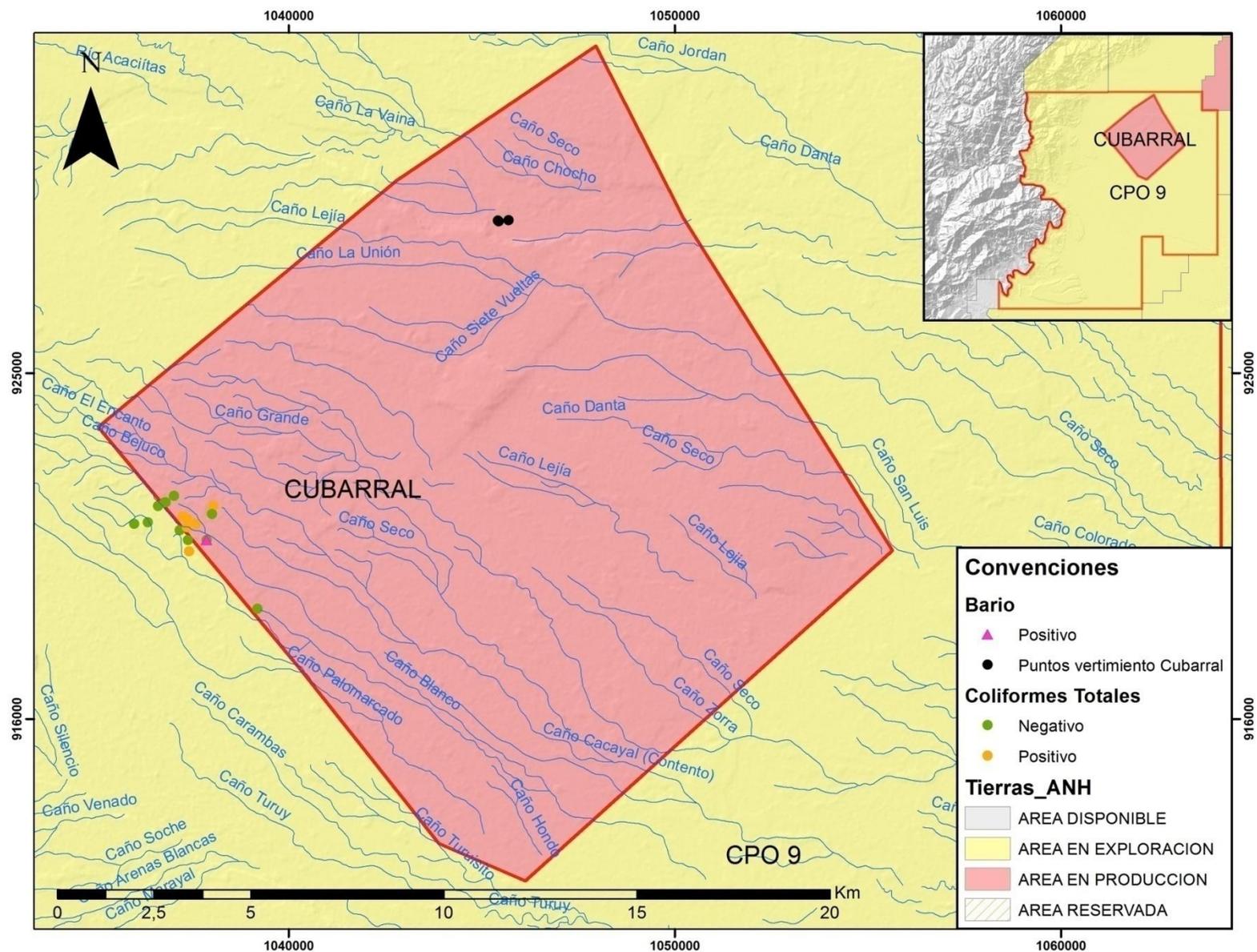
- Material flotante y olores ofensivos
- Presencia de grasas y aceites en el monitoreo del vertimiento

Río Acacías  
Fuente: CGR,2013



# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: CPO-09 (Ecopetrol)



CPO – 9 Ecopetrol –  
Campo Nueva Esperanza

Datos de excedencias de  
bario y coliformes

Fuente: Fierro – PNN, 2015

# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: CPO-09 (Ecopetrol)

### Contaminación atmosférica – Cubarral



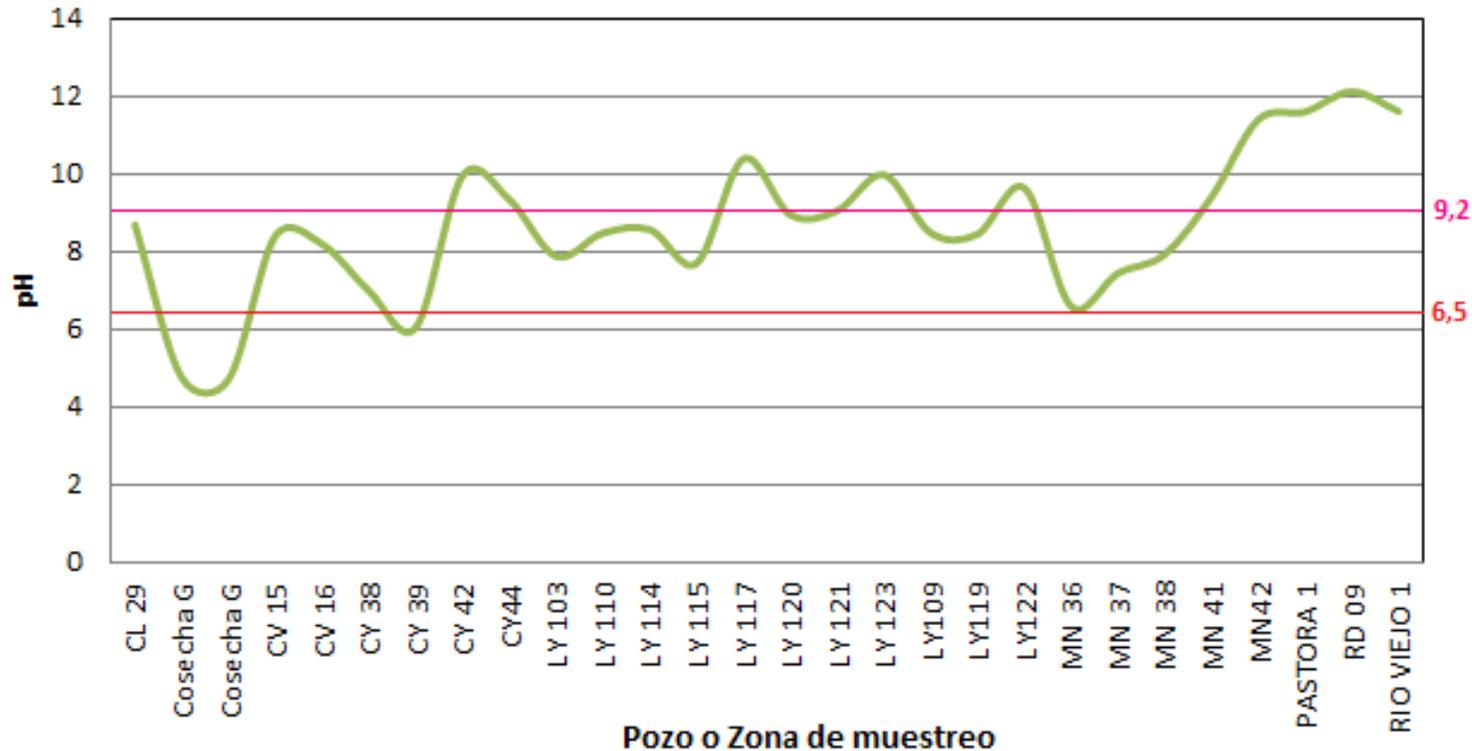
- Emisión de vapores producto de la dilución con Nafta y gases por la quema en la tea
- Solicitud por parte de la ANH de adoptar sistemas de control de vapores
- Diariamente se queman 6 millones de pies cúbicos de gas. (La composición del gas es principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ) y compuestos orgánicos volátiles (COV))

Estación Chichimene Fuente: CGR,2013

# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: Caño Limón (Oxy)

Resultados de pH en análisis de suelos Caño Limón

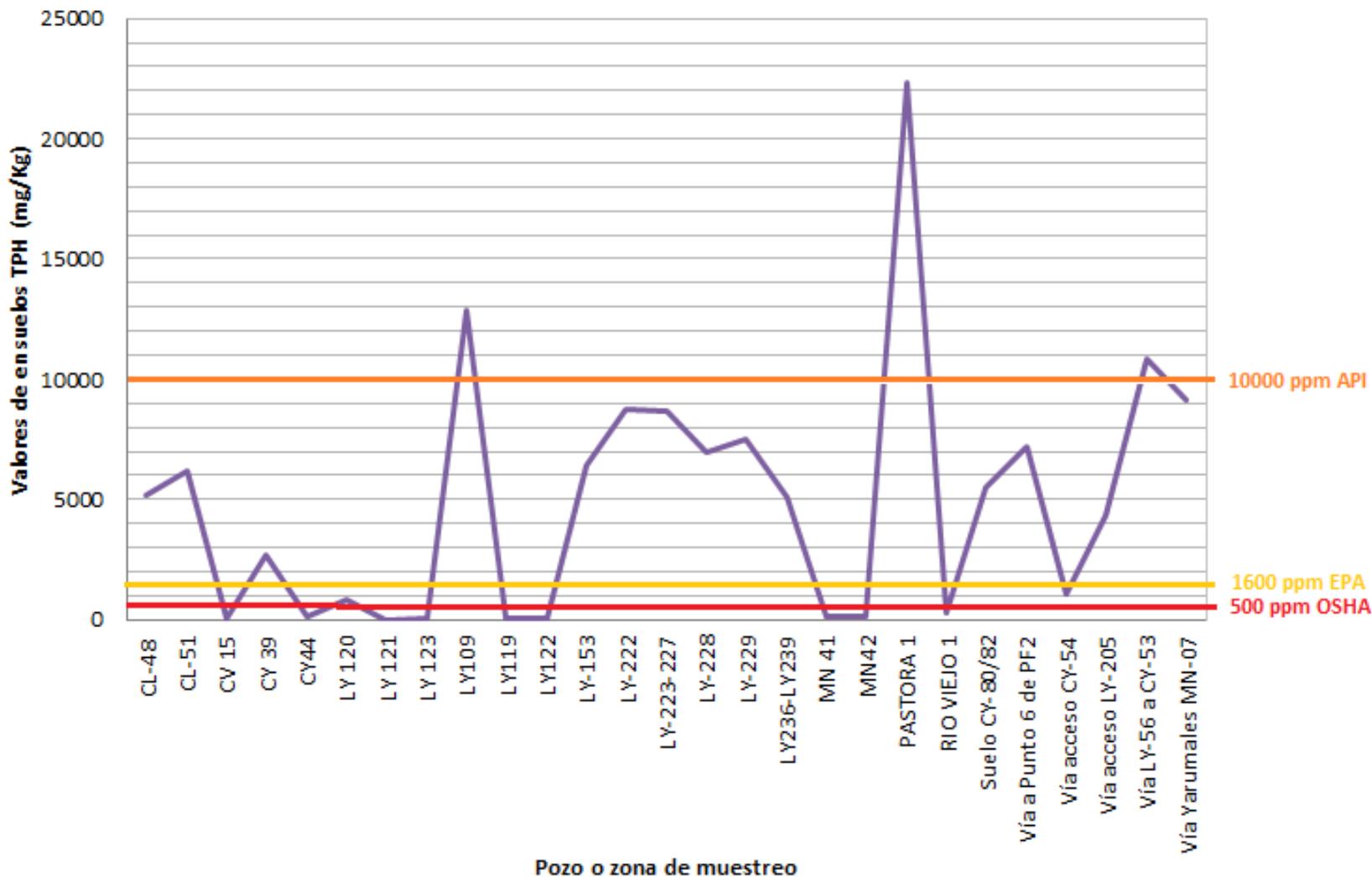


Contaminación con hidrocarburos de petróleo - cambios en las propiedades químicas del suelo, disminuye pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico, lo cual incrementa el porcentaje de saturación con aluminio. Estos cambios hacen menos diversa la estructura funcional de la comunidad bacteriana (Zamora *et al.* 2012).

# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: Caño Limón (Oxy)

Resultados de TPH en análisis de suelos Caño Limón



API: Para evitar contaminación agua subterránea = 10000 ppm, si se disuelve con una cantidad máxima de nafta de 0,58 mg/L (O'Reilly *et al.*, 2001).

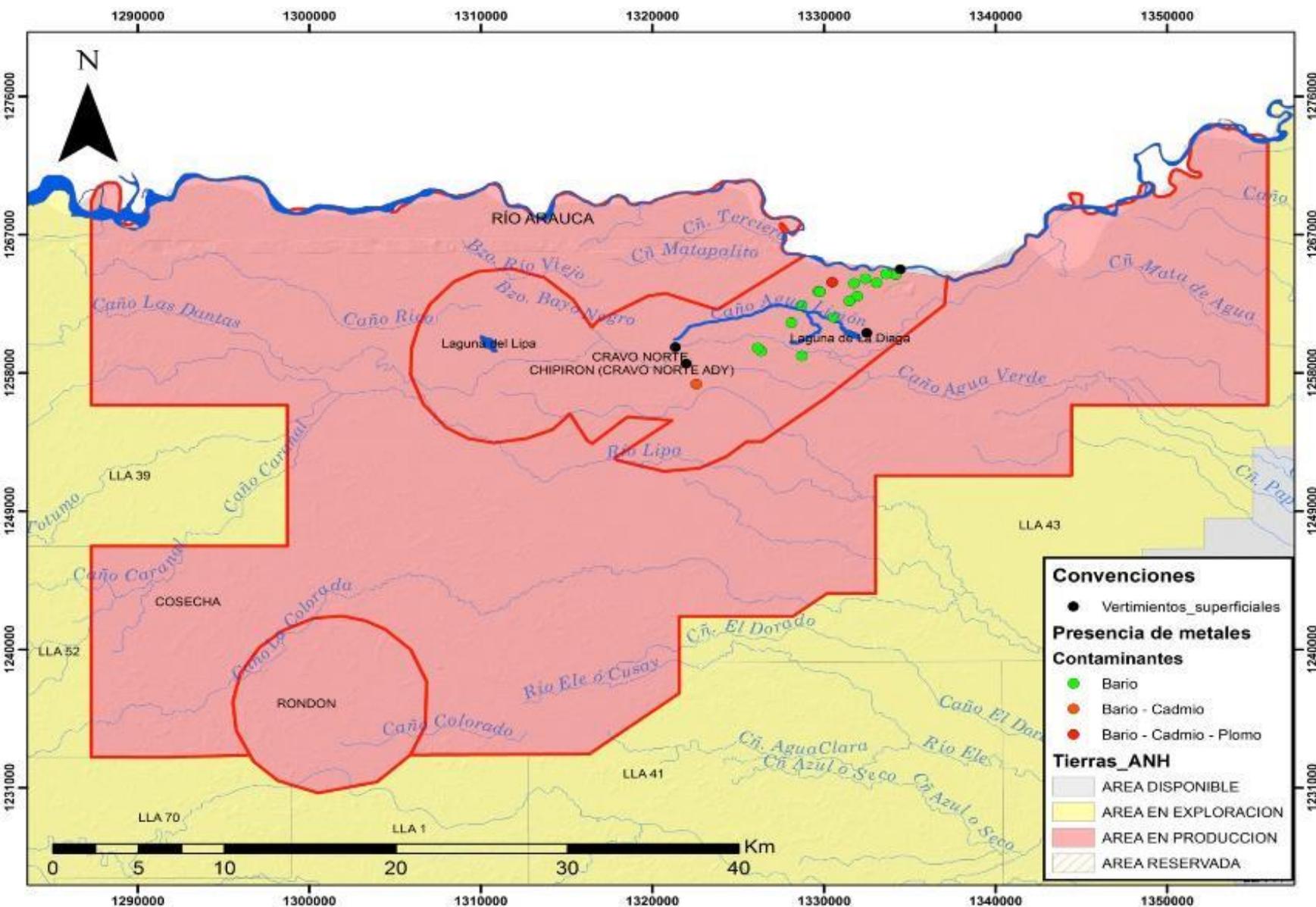
Guía EPA de Protección del Suelo (en O'Reilly *et al.*, 2001) : concentración no mayor a 1600 ppm con 1mg/L de Nafta.

Suelo potencialmente contaminado - concentraciones de TPH mayores a 50mg/Kg (Sabroso & Pastor, 2004).

En Colombia no hay concentración mínima para disolución de Naftaleno

# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: Caño Limón (Oxy)



- Indicios de contaminación a las aguas con bario, cadmio y plomo.

Fuente: Fierro - PNN 2015

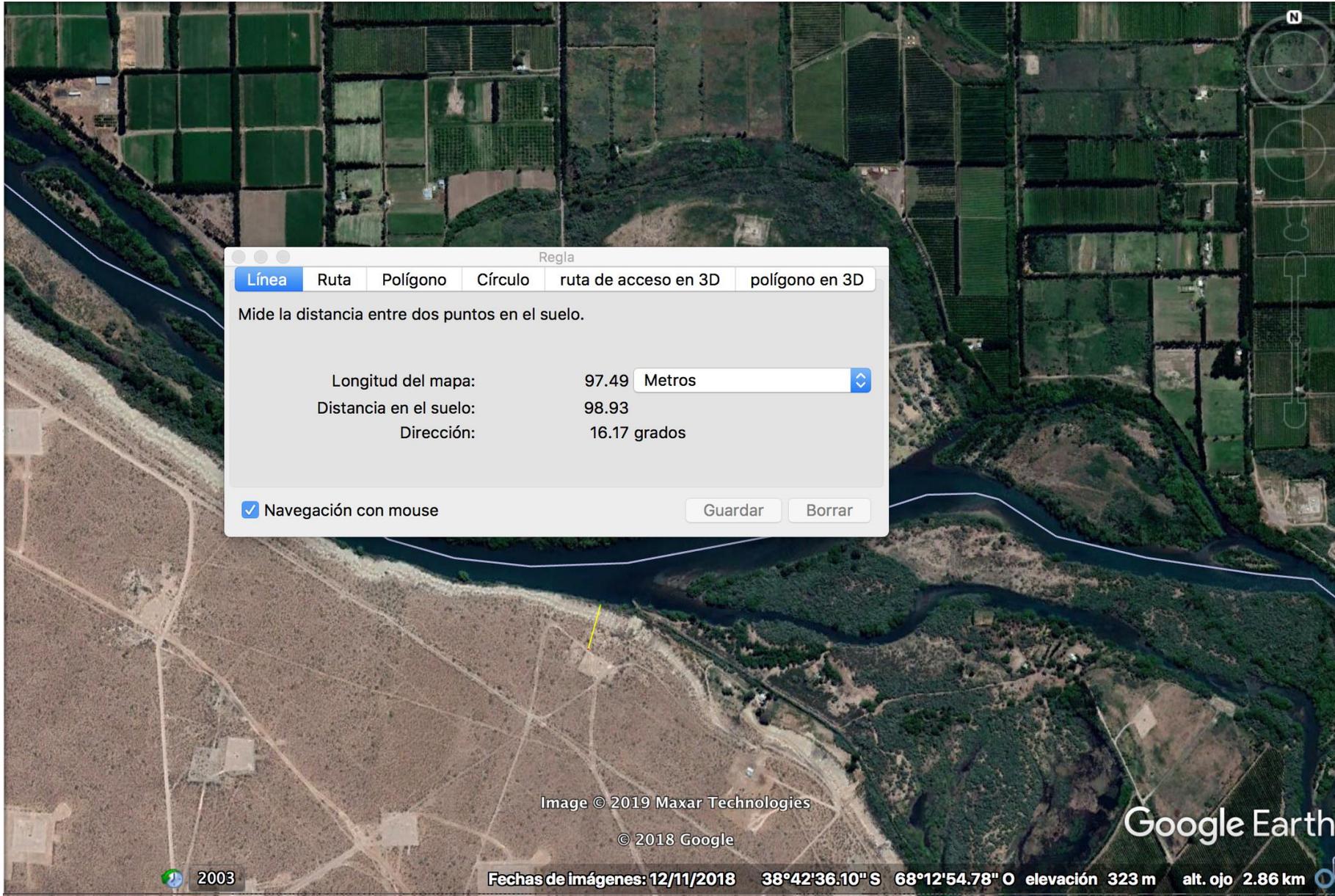
# La problemática más allá del fracking

## - La contaminación petrolera: Caño Limón (Oxy)

### Bloque Caño Limón

- El vertimiento de ARI es sobre los esteros Agua verde y La Conquista.
- Los valores de fenoles exceden más de seis veces la norma los estero Agua Verde, La Conquista, caño Agua Verde, laguna Lipa, caño Limón, laguna La Draga, laguna Las Truchas, caño Matanegra.
- Registro de fenoles y grasas y aceites en aguas subterráneas
- No se encuentran reportes de metales pesados en aguas superficiales pese a que son reportados en las ARI
- Pese a ser uno de los proyectos insignia del país, carece de información técnica necesaria para el análisis de los impactos ambientales al agua

# FRACKING: La irresponsabilidad de las empresas.



Zona de explotación de yacimientos no convencionales Vaca Muerta, norte de Nequén. Río Limay. Plataformas a menos de 100 metros del cuerpo de agua.

# FRACKING: La irresponsabilidad de las empresas.



Zona de explotación de yacimientos no convencionales Vaca Muerta, norte de Neuquén.  
Lago Marí Menuco.  
Plataformas a menos de 50 metros del cuerpo de agua.

Image © 2019 Maxar Technologies

© 2018 Google

Google Earth





GRACIAS

[www.terraegeoambiental.org](http://www.terraegeoambiental.org)

[info@terraegeoambiental.org](mailto:info@terraegeoambiental.org)